



المشروع القومي للترجمة

القوى الأربع الأساسية فى الكون

البحث عن النظرية الموحدة الكبرى

تأليف : پول ديڤيز

ترجمة : هاشم أحمد محمد

مراجعة : جلال عبد الفتاح

394

المشروع القومى للترجمة

القوى الأربع الأساسية فى الكون

البحث عن النظرية الموحدة الكبرى

تأليف : پول ديڤيز

ترجمة : هاشم أحمد محمد

مراجعة : جلال عبد الفتاح



٢٠٠٢

المشروع القومى للترجمة

إشراف : جابر عصفور

- العدد : ٣٩٤
- القوى الأربع الأساسية فى الكون
  (البحث عن النظرية الموحدة الكبرى)
- پول ديڤيز
- هاشم أحمد محمد
- جلال عبد الفتاح
- الطبعة الأولى ٢٠٠٢

هذه هى الترجمة الكاملة لكتاب :

SUPERFORCE

The Search for a Grand Unified Theory of Nature

Paul Davies

1985

شارع الجبلاية بالأوبرا – الجزيرة – القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo

Tel : 7352396 **Fax :** 7358084 **E. Mail :** asfour@onebox. com

المحتويات

مقدمة المترجم

كان للاختراع العظيم الذى قام به العالم المصرى الدكتور أحمد زويل ، وهو الفمتو ثانية ، أثره العظيم على العلم ، إذ فتح نافذة كبيرة أطل منها البشر على عالم من الكائنات الدقيقة ، والذى سيكون له أثره العظيم فى فهم الأحداث التى تجرى عند هذا الجزء بالغ الصغر من الزمن ، وقد اعترف المجتمع العلمى بهذا الكشف العظيم ، واستحق عنه جائزة نوبل فى الكيمياء لعام ١٩٩٩ .

ومن المعروف أن الاكتشافات العلمية تحدث تغييرا جذريا فى مفهوم البشرية عن الكون ؛ فكان لاختراع الميكروسكوب أن استطاع العالم الهولندى أنتونى ڤان ليڤينهوك **Leevwenhoek** اكتشاف الميكروبات الذى فتح نافذة كبيرة أطل منها على الأبعاد العميقة فى لغز الحياة وأسباب الموت .

وهذا هو جريجور مندل الذى اكتشف قوانين الوراثة عام ١٨٦٥ ووضع البشرية على الطريق الصحيح إلى عالم الوراثة فى النبات والحيوان ، واعترف العالم بفضله وسميت قوانين الوراثة باسمه .

وهذا هو إسحاق نيوتن ، الذى وضع قوانين الحركة والجاذبية عام ١٦٨٧ ، وكان من اكتشافه أيضا أنه صنع أول تلسكوب عاكس فى عام ١٦٧٢ ، وهو نفس التلسكوب المنظور الذى يستخدم فى المراصد الفلكية حتى اليوم .

وهذا ألبرت آينشتاين ، من أعظم علماء القرن العشرين وأكبرهم شهرة ، الذى ارتبط اسمه بنظرية النسبية الخاصة التى أعلنها فى سنة ١٩٠٥ ، والنسبية العامة التى أعلنها بسنة ١٩١٥ .

والفيزياء من العلوم الرائدة التى تعتبر أم العلوم ، وهى المنوط بها تفسير الكون وكيف جاء إلى الوجود .

ويناقش بول ديڤيز – فى هذا الكتاب – ما يمكن اعتباره أهم انتصار للفيزياء الحديثة ، نظرية كاملة عن الكون بما فيها نشأته ، التى كانت نتيجة بسلسلة التطورات العظيمة لمعرفتنا بالقوى الأساسية التى تحكم كل الأنشطة الطبيعية .

كما ناقش ديڤيز فكرة وجود أحد عشر بعداً للمكان - الزمن ، وفكرة فرط التماثل وما يسمى بالنظريات الموحدة الكبرى .

ويأتى الكتاب فى أربعة عشر فصلا ، تناول فيها الكاتب العديد من الموضوعات ، مثل الكون المكشوف ، والفيزياء الحديثة وانهيار الفطرة السليمة ، والحقيقة والكم ، والتماثل والجمال ، والقوى الأربع ، وغيرها من الموضوعات التى تثير فضول القارىء وتضيف إليه أبعاداً جديدة عن الكون الغامض الذى نعيش فيه .

وأرجو أن أكون قد أسهمت بترجمة هذا الكتاب اطلاع القارىء على أحدث النظريات العلمية التى يجرى مناقشتها ، والتى ستضيف للإنسان أفقًا جديداً لكشف اللغز العظيم عن الكون الغامض ، وموقع الإنسان فيه .

هاشم أحمد

مقدمة المؤلف

تعد موجة الاهتمام الشعبى الأخير بالفيزياء الأساسية واحدة من أكثر التطورات الاجتماعية الفريدة فى عصرنا . فما سر الفيزياء ، بصيغها الغامضة ، ومصطلحاتها الفنيـة الغـريبة ، الذى يجعل جمهوراً عريضًا ينجذب إليها ؟ تكمن الإجابة ، فيما أعتقد ، فى قدرتها الهائلة على تفسير العالم ، مع العنصر الخفى العميق الذى يصف ويميز معظم الفيزياء الحديثة ؛ فالفيزياء تعد أحد فروع العلم الفريدة شاملة الدراسة ، حيث أن موضوعها الكون بأسره . ومن خلال الفيزياء ، يمكن دمج جميع أجزاء الكون - بدءًا من الجسيمات الأولية داخل الذرات فى إطار تصورى موحد ، وقدرة الفيزياء على توحيد العالم الغريب والمحير الموجود حولنا ، يجعلها من الموضوعات بالغة التأثير فى نفوس الناس .

لقد أوضحت فى هذا الكتاب ما لا يزال يمكن اعتباره أهم انتصار للفيزياء الحديثة - نظرية كاملة عن الكون بما فيها نشأته ، وقد ظهرت هذه الإمكانية المذهلة نتيجة لسلسة تطورات عظيمة فى معرفتنا بالقوى الأساسية التى تحكم كل الأنشطة الطبيعية ، إذ تكشف الأبحاث العلمية الأخيرة عن وجود قوة عليا متسيدة ، ليست جميع القوى الأخرى سوى مظهر منها . وفتحت الاكتشافات الأخيرة الطريق نحو مفهوم أساسى جديد عن كون موحد تولد من عنف طاغ ، وتمخضت منه جميع التركيبات الفيزيائية من نيران أولية تحت تأثير القوة العظمى .

هذا التقدم فى معرفتنا بالكون يحدث الآن ؛ فأثناء كتابتى هذه الكلمات يتوالى وصول التقارير عن أوجه التطور والاكتشافات الحديثة المتعلقة ببعض الموضوعات التى سوف نتناولها فى الفصول القادمة ، لقد ألفت هذا الكتاب ، لرغبتى فى مشاركة إثارتى وحماسى بهذه التطورات الهائلة مع جمهور أكبر ، وعلى الرغم من أن العديد من المفاهيم تعد صعبة ومجردة ، فقد بذلت غاية جهدى كى . أوضحها بلغة بسيطة سهلة الفهم على قدر الإمكان .

تواجه العالم المتخصص الذى يؤلف كتابا من هذه النوعية للقارئ العام ، نوعية خاصة من المشاكل . فعليه مسئولية تجاه مهنته تتمثل فى الحفاظ على الدقة والتوازن ، ومسئولية تجاه القارئ بألا يفسد المتعة الكاملة بالموضوع بكم لا نهائى من

التوضيحات والتحذيرات . وتصبح المشكلة أكثر حدة عندما تتعلق بموضوع سريع التطور يعد فى طليعة الجهود العلمية ، تتغير فيه الأفكار والأنماط فى غضون ليلة وضحاها ؛ إذ يمكن أن تصبح النظريات التى لاقت قبولا فى وقت تأليف الكتاب ، نظريات لا تتمتع بمصداقية عند مثول الكتاب للطبع . والأكثر من هذا ، فغالبا ما تتباين وجهات النظر بين المتخصصين أنفسهم تبعا لدرجة المصداقية التى ينبغى أن ترتبط بأى نظرية حالية .

هذا الكتاب يعتبر إلى حد ما وجهة نظر شخصية عن الموضوع ، فالعديد من الأفكار يعد جزءًا من علم فيزيائى راسخ ، ولا تزال أفكار أخرى موضع جدل ، كما أن هناك أفكارًا نظرية إلى حد بعيد . ومما لاشك فيه أن الكثير من زملائى المتخصصين لن يتفقوا تماما على الأهمية التى أوليتها لبعض من الأفكار الأكثر نظرية ، وعلى ذلك يجب على القارئ الذى يهتم بفصل الواقع **Fact** عن الحدس **Conjecture** أن يتوخى الحذر . وعلى سبيل المثال ، فقد قبل العلماء تقريبا نظرية الانفجار العظيم **Big Bong** عن نشأة الكون ، وقبل العديد من رجال الفلك والفيزياء أيضا النظرية الحافلة بالتفاصيل الدقيقة عن العمليات النووية ، التى يجب أن تكون قد حدثت خلال الدقائق القليلة الأولى " وهى نظرية التضخم " ، ومع ذلك ، فهناك حاليا اهتمام كبير بالعمليات الأكثر غرابة التى حدثت خلال الثانية الأولى ، ولا تقف هذه الأفكار على أرضية صلبة ، حيث لا توجد سوى بعض البراهين الرصدية لتأكيد النظريات العديدة . لذلك السبب ، يجب اعتبار كل المناقشات عن هذه الفترة المبكرة جدًا ، أفكارًا حدْسية .

وفى هذا الكتاب ، ناقشنا العديد من النظريات الحديثة والتأملية الأخرى . إحدى هذه النظريات هى فكرة وجود أحد عشر بعدًا للمكان – الزمن **Space - Time** ، فأثناء الكتابة تعتبر هذه النظرية معروفة تمامًا لبعض الباحثين ، ولها بعض السمات القوية التى تذكيها ، بينما لا يوجد لها أساس قائم على التجربة ، فلا يقبل مكان – زمن ذا أحد عشر بعدا كحقيقة راسخة ، وهناك تطور حديث مهم آخر يعرف بفرط التماثل **Super Symmetry** حيث بلغت النظرية تطورًا أكثر تقدما ، ويزكيها بشدة العديد من الباحثين . ومع ذلك ، فلا يزال فرط التماثل مجرد حدْس ، ويمكن أن يقال نفس الشيء عما يسمى بالنظريات الموحدة الكبرى **grand unified theories** ، على الرغم من أننا قد نجد هنا بعض التجارب التى تؤيدها .

وحقيقة أن الأفكار تأملية ، لا يقلل بطبيعة الحال من اهتمامنا بها ، فقد نشأ العلم من التأمل والحدس . وفى بعض المجالات ، مثل علم نظام الكون **Cosmology** حيث من الصعب أو حتى من المستحيل إجراء اختبارات تجريبية ، يميل الجدل العلمى نحو إجراء مواجهة بين النظريات المتنافسة ، بدلا من أن تكون المواجهة بين النظرية والرصد . وعلى الرغم من ذلك ، فلا يزال من الممكن أن يحدث تقدم فى المعرفة من خلال قوانين المنطق ، والإبقاء على التوافق مع فيزياء معروفة .

والنتيجة ، إذن ، نموذج للكون ليس من بنات أفكارى ، لكنه ذلك النموذج الذى يحظى حاليا بالقبول من بعض الباحثين الفيزيائيين وعلماء الفلك على الأقل فى العديد من سماته ، وأعتقد من وجهة نظرى الشخصية أنه على الرغم من أن النموذج سيتغير بلا شك فى المستقبل ، إلا أن بعض الأفكار الأساسية صحيحة ، وسيقبل معظمها على مدار السنوات القادمة .

أثناء تأليفى لهذا الكتاب ، استمتعت كثيرا بالعديد من المناقشات المثمرة مع الأصدقاء والزملاء ، وتعبر معظم قناعتى عن الأفكار الثاقبة الجميلة التى قدموها إلىّ . أوجه امتنانى الخاص إلى زملائى المقربين فى جامعة نيوكاسل ، وعلى الأخص الدكتور ستيفن بيدنج ، والدكتور أيان موس ، اللذين قدما لى الكثير من التفاصيل الفنية ، وقد تلقيت أيضا عونا كبيراً ومعلومات مهمة من الدكتور آلان جوث ، والبروفيسور مارتين رييز .

بول ديڤيز

لندن ١٩٩٤

ملاحظة فنية

سوف يرد علينا فى هذا الكتاب أعدادًا غاية فى الصغر ، وأخرى بالغة الضخامة ، وبدلا من كتابتها بصورة كاملة ، فمن الأفضل استخدام قوى الأساس " عشرة " ؛ حيث يمثل العدد : الواحد الصحيح متبوعًا بعدد الأصفار يماثل قوة الأساس :

* مليون Million = 10^{6} – أى واحد وأمامه ستة أصفار .

* بليون Billion = 10^{9} – أى واحد وأمامه تسعة أصفار .

* تريليون Trillion - 10^{12} – أى واحد وأمامه اثنا عشر صفرًا .

وفى الأعداد الأقل من الواحد ، أى الصغيره جدًا كالآتى :

* جزء من مليون = 10^{-6} – وتكتب هكذا **0.000,001**

* جزء من بليون = 10^{-9} – وتكتب هكذا **0.000,000,001**

* ثلاث أجزاء من المليون = 3×10^{-6} – وتكتب هكذا **0.000,003**

– وجميع الأعداد فى الكتاب سوف تكتب بالأشكال العربية ، التى تعرف بالأعداد الأوروبية . أما الأرقام العربية الحالية فما هى إلا الأرقام الهندية ، وذلك منعًا للاختلاط بالأصفار وزيادة الدقة .

الفصل الأول

طبيعة الكون المنشور

1 - البداية الأولى للكون :

كل امرئ يحب قصص المغامرات ، والآن تحدث واحدة من أكبر المغامرات على مر العصور ، حيث تتناول أحداثها العالم المبهم للفيزياء الأساسية ، وشخصيات القصة هم العلماء ، ومطلبهم جائزة تفوق قيمتها كل تصور - شيء لا يقل عن تفسير الكون .

أهم اكتشاف علمي في عصرنا ، هو أن الكون المادى لم يكن موجودا دائمًا ، ولا يواجه العلم تحدٍ أكبر من تفسير كيف جاء الكون إلى الوجود ، ولماذا نظم بالكيفية الموجود بها ؟ ، وأعتقد أنه خلال السنوات القليلة الماضية تم مواجهة هذا التحدى ؛ لأنه لأول مرة في التاريخ يصبح لدينا نظرية علمية منطقية عن الوجود ، ويمثل هذا الفتح الكبير تقدمًا غير مسبوق فى معرفتنا بالعالم ، وسوف يكون له أصداء عميقة على تصور الإنسان للكون وموقعه فيه .

هذه التطورات المثيرة تواجهنا بشكل مباشر، نتيجة لبعض صور التقدم الرئيسية التى حدثت فى الفيزياء الأساسية على مدى العقد الأخير ، خاصة فى المجال المعروف بفيزياء الجسيمات عالية الطاقة[1] high-energy particle physics. ؛ ففى حقل النشاط التجريبى تظهر لأول مرة اكتشافات مهمة عن علاقات عميقة بين الجسيمات دون النووية والقوى الكامنة داخل المادة. بيد أن أوجه التقدم فى المعرفة النظرية - إن وجد شيء منها - تعتبر تطورات بالغة الإثارة . وهناك تصوران جديدان يتطوران بسرعة كبيرة ، يعرف أحدهما باسم النظريات الموحدة الكبرى grand unified theo-ries(GUTs) ، والآخر باسم فرط التماثل supersymmetry. وتشير هذه الأبحاث معا إلى فكرة غاية فى الإثارة ، وهى أن الطبيعة كلها تحكمها فى النهاية قوة

عظمــى واحدة single superforce. وقد كانت للقوة العظمى القدرة على تزويد الكون الوليد بالضوء ، والطاقة ، والمادة ، والبنية . بيد أن القوة العظمى أكثر من مجرد قوة مبـدعـة ، إذ كـانت تمثل دمج للمـادة ، والمكان – الزمن ، والقـوة فى إطار مـتكامل ومتناسق ، يضفى على الكون وحدة لم تكن فى الحسبان .

والعلم كله فى الأساس بحث عن الوحدة ، فالعالم حينما ينسب ظواهر مختلفة فى نظرية عـامـة أو وصف ، فـإنه يوحـد جـزءا من عـالمنا المعقـد بصـورة مـدهشـة . والشىء الذى يجعـل الاكتشـافـات الحديثـة مثيـرة للغايـة ، مـن الناحيـة النظريـة ، هو إمكانيتها فى إدراج كل الظواهر الطبيعية فى مخطط وصفى واحد .

ويمكــن إرجــاع أصــول البحــث عن قـوة عظمى إلى البحث الأولى لآينشـتـاين Einstein وآخـرين ، الذين حـاولوا وضـع نظرية المجـال الموحـد[2] unified field theory. وقبل ذلك بقـرن ، أوضـح فـارادى[3] ومكسـويل[4] أن الكهـربيـة والمغناطيسـيـة قـوتان وثيقتا الصلة ، يمكن وصفهما بمجال كهرومغناطيسى موحد ، ويمكن قياس نجاح هذا الوصف من التـأثيـر الهـائل لموجـات الراديو والإلكتـرونيـات – الذى نشـأ من مفـهـوم المجال الكهرومغناطيسى – على مـجتمعنا . فقد كان الدافع دائما قويا لتوسيع عملية التوحيد ، ودمج المجـال الكهرومغناطيسى مع مـجـالات قوى أخرى ، مثـل الجـاذبيـة . ومن يدرى ما قد تأتى به النتائج الغريبة تماماً ؟

ومع ذلك ، لـن تكـون الخطوة التالية بالخطوة السهلة ، فقد كان بحـث آينشـتـاين عن نظرية مـوحـدة للمـجـالات الكهـرومـغـناطيسـية والجـاذبيـة بحـثـا عديـم الجـدوى . وفى أواخر الستينيات ، حدث تقدم آخر على طريق الوحدة ، عندما تبين أنه يمكن ضم الكهرومغناطيسية بطريقة رياضية إلى إحدى القوى النووية (التى يسميها الفيزيائيون بالقـوة الضـعـيفـة weak force وجـاءت النـظرية الجـديدة بتنبـؤات قـابلة للتـجـريب . وكان أكثرها إثارة وجود نوع جديد من الجسيمات الخفيفة ، التى لا تشبه الفوتونات العادية ، بل جسيمات غامضة تسمى (Z) ، اكتشفت عـام 1983 ، من خـلال سلسلة تجارب تصادم عالى الطاقة فى معجِّل الجسيمات الموجود بالقرب من جنيف ، وثبتت النظرية الموحدة بصورة قاطعة بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة .

وفى ذلك الحين ، اتخذ الباحثون خطوة للأمام ، ووضعوا نظرية أخرى أكثر طموحا يتحد فيها النوع الآخر من القوى النووية (القوة النووية الشديدة strong force) مع القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة . وظهر بحث مماثل عن الجاذبية ، وكيف يمكنها أيضا أن تندمج مع القوى الأخرى فى نظرية موحدة. ويعتقد الفيزيائيون أنه لا توجد فى الطبيعة سوى هذه القوى الأساسية الأربع ، ولذا فلا يزال الطريق مفتوحا لنظرية متكاملة بشكل تام ، تندرج فيها كل القوى فى مخطط وصفى واحد. ويبدو فى النهاية ، أن نظرية المجال الموحد التى ظل البحث عنها طوال عقود عديدة قد أصبحت قريبة المنال. وصادف العلماء فى محاولتهم لدمج قوى الطبيعة الأربع فى قوة عظمى عامة بعض الأشياء المفاجئة المفيدة ، فقد ظهرت نظرية القوى الحديثة من فيزياء الكم quantum physics ، التى تعمل فيها مجالات القوى من خلال جسيمات "حاملة للقوى" Carrier particles. ولما كانت المادة كلها تتكون من جسيمات أيضا ، فإن فيزياء الكم تقدم تصورا عاما للقوة والمادة . وفى الواقع ، يستحيل فك بنية القوى عن البنية الميكروسكوبية للمادة ، فالجسيمات تؤثر على جسيمات أخرى (وعلى نفسها) من خلال تبادل المزيد من القوى الأخرى. ويستنتج من ذلك أن نظرية موحدة للقوى تعتبر أيضا نظرية موحدة للمادة. والترتيب المدهش لأنواع الجسيمات الذى أعده القائمون بالتجارب على مدى الخمسين عاما الماضية ، لم يعد مجموعة من الأشياء المختلطة بغير نظام والمنعدمة المعنى ، بل نمط منظم ومرتب .

ويعد مفهوم التماثل Symmetry عاملاً مهماً فى برنامج التوحيد . وهو فى جوهره ، يظهر التماثل أو التناظر كلما وجدت حلقات وصل بين أجزاء مختلفة للأجسام المادية أو للنظم . فلو تم تجميع الجسيمات دون الذرية ، ذات الخواص وثيقة الصلة فى صورة عائلات ، فإن الأنماط الناشئة توحى بتماثلات عميقة موجودة . ويكشف التحليل الرياضى للقوى التى تشكل المادة أيضا عن تماثلات خفية ذات طبيعة بارعة ومجردة . ومن هذا المفهوم ، اكتشف الفيزيائيون أنه يمكن فهم القوى بصورة دقيقة . إنها ببساطة مجرد محاولة للطبيعة للإبقاء على تماثلات معقدة مجردة عديدة فى العالم .

ومن هذه المفاهيم الثاقبة للعلاقات بين مجالات القوة ، والجسيمات، والتماثل ، برز ما قد يعتبر أكثر الدلالات وضوحا – ألا وهو أننا نعيش فى عالم ذى أحد عشر بعداً eleven-dimensional universe ووفقا لهذه النظرية ، فقد زاد إدراكنا للفضاء

ذى الأبعاد الثلاثة ، سبعة أبعاد فضائية غير مرئية ، تشكل فى مجموعها مع الزمن أحد عشر بعداً ، وعلى الرغم من عدم رؤيتنا الأبعاد السبعة الأخرى ، فلا تزال هذه الأبعاد تفصح عن وجودها فى صورة قوى . وما نعتبره ، قوة كهرومغناطيسية، فإنها بالفعل بعداً فضائيًا غير مرئياً لكنه موجود. وتعكس هندسة الأبعاد السبعة الأخرى التماثلات المتلاصقة والمتلازمة فى القوى . ويستنتج من هذا البحث أنه لا يوجد فى الحقيقة مجالات قوى على الإطلاق ، بل مجرد مكان – زمن خاو ذى أحد عشر بعداً مجعداً فى صورة نماذج . والعالم ، على ما يبدو ، يمكن أن ينشأ تقريبا من عدم منظم ، وتعتبر القوة والمادة مظهران للمكان والزمن. وإن صح هذا ، فستعتبر علاقة لها مغزى عميق الدلالة .

ومن هذه التطورات المثيرة فى معرفتنا بالقوى الأساسية التى تشكل العالم المادى ، يمكننا أن ندرك أن البنية الأساسية للكون حاليا ، قد وضع أساسها منذ الأزمنة الكونية المبكرة ، أى منذ أن كان عمر الكون لا يزيد عن ثانية واحدة . ويتفق الفلكيون حاليا على أن الكون قد جاء إلى الوجود من "انفجار عظيم" **big bang** ، ثوران متفجر وعنيف، فاقت فيه الظروف الطبيعية الحدود القصوى من درجات الحرارة والانضغاط الموجود حاليا فى الكون . وللحظة سريعة الزوال امتلأ الفضاء بأشكال غريبة جدا من المادة ، تحكمها قوى ظلت متسيدة منذ ذلك الحين. ومن هذا الوميض السريع الأولى للوجود أصبح للقوة العظمى موقع السيادة .

فى البداية ، كان الكون جيشانا بلا معالم من طاقة كمية ، حالة تماثل شديدة بصورة فريدة. وفى الواقع ، فقد كان الوضع الأولى للكون فى أبسط صوره الممكنة . ولم يخرج العالم بتركيباته المألوفة من بوتقة الفرن الابتدائى إلا عندما تمدد وبرد بسرعة . وواحدة تلو الأخرى ، انفصلت القوى الأساسية عن القوة العظمى ، وخطوة تلو الخطوة ، اكتسبت الجسيمات التى قدر لها أن تبنى كل المادة كينونتها الحالية . وفى هذه المرحلة المبكرة أيضا تولدت نوى المجرات. وقد يتبادر إلى الذهن أن الكون المعقد والمنتظم بدرجة عالية – كما نراه اليوم – قد "تجمد "من النسق أو النمط عديم البنية للانفجار العظيم .فكل البنية الأساسية الموجودة حولنا هى أثر أو شىء أحفورى **Fossil** من هذه المرحلة الأولية ، وكلما كان الشىء أكثر بدائية كان عهد خروجه من الفرن الأولى أقدم .

كان الغموض الكوني الأعظم دائماً هو الذى أحدث الانفجار العظيم . وإلى وقتنا هذا ، لم يكن فى مقدورنا الرد على هذا السؤال ، سوى إجابات تجريدية . وحاليًا ، يمكننا أن نستشف تفسيراً علميا إلى حد بعيد عن الانفجار العظيم مبينًا على أساس أنشطة القوة العظمى. ووفقا لهذه الأفكار الأخيرة ، فقد انفجر الكون إلى وجود مادى من عدم بالمعنى الحرفى للكلمة. فحتى المكان والزمن قد جاءا إلى الوجود فى هذه اللحظة . والسر وراء هذا الحدث الكونى هو فيزياء الكم **quantum physics** ، وهو الموضوع الذى سنناقشه بشكل مفصل فى الفصول القادمة.

وعلى أثر مجيء الكون للوجود ، تطور بسرعة فائقة فى ظل تسيد القوة العظمى . ويعتقد بعض الباحثين أن البنية المرصودة للكون الحالى على اتساعه قد نشأت خلال 10^{-32} من الثانية الأولى . وتضمن هذا التطور السريع للنظام الكونى ، على التحول من الأبعاد العشرة للمكان ، إلى الأبعاد الثلاثة الباقية حتى اليوم. وخلال تلك الآونة أيضا، أصبح الكون يعمل "بجهد ذاتى" الذى مكنه من أن يولد تلقائيا كميات هائلة من الطاقة من عدم. وإن كان الأمر كذلك ، فقد تولدت من هذه الطاقة الأولية كل المادة التى ظلت تبنى الكون ، وكل الطاقة التى لا تزال تزود الكون بالقوة حتى اليوم .

والعلماء أنفسهم منقسمون إلى معسكرين، فهناك من يعتقد ، من حيث المبدأ ، أن العلم يمكن أن يفسر الكون بأسره. ويصر آخرون على أن هناك عنصراً غيبياً أو خارقًا لطبيعة الوجود عميق الجذور ، لا يمكن التعامل معه بالتعليل العقلى . والمتفائلون العلميون ، إن جاز لنا تسميتهم بذلك ، ليسوا من الجرأة حتى يدّعوا بأننا سنحقق فى يوم ما معرفة عملية كاملة بكل جزء من أجزاء الكون ، لكنهم يؤكدون على أن كل عملية وكل حدث يتفق بشكل قاطع مع مبدأ القانون الطبيعى **Natural Law** ، وينكر خصومهم هذا الإدعاء .

وتواجه الفيزياء ، من بين كل العلوم، هذا الاختيار المطلق بصورة أكثر حدة إلى حد ما ، لأنها "علم أساسى". إذ أن من مهام الفيزيائى فهم طبيعة المكان والزمن ، والبنية الأساسية للمادة ، وعمل القوى التى تبنى الأشياء التى نطلق عليها فى مجموعها اسم " الكون ". والهدف النهائى للفيزياء هو تفسير من أى شيء يتكون العالم ، وكيف تآلفت أجزاؤه ، وكيف يعمل . فإذا كان أى جزء من العالم ، سواء ماضيه أو حاضره أو مستقبله غير مدرج فى هذا المخطط ، فأغلب الظن أن يكون الفيزيائى هو أكثر الأشخاص انزعاجًا .

ولعهد قريب يرجع إلى منتصف السبعينيات ، لم يكن من الممكن تصديق بعض الإنجازات المذكورة فى هذا الكتاب . إذ اعتقد معظم علماء الفلك بأنه على الرغم من أن الفيزياء يمكن أن تفسر تطور الكون منذ لحظة خلقه ، فإن الأصل النهائى لنشأة الكون يقع خارج مجال العلم . وعلى وجه الخصوص ، يبدو من الضرورى أن نفترض أن الكون فى البداية ، قد نشأ من حالة أولية خاصة جداً ، حتى تطور بالشكل الذى نراه عليه حاليا. وعلى ذلك ، يجب أن نفترض أن كل التركيبات الفيزيائية المهمة ، وكل المادة والطاقة وتوزيعها على نطاق واسع ، هى هبة من الله سبحانه وتعالى ، ويجب اعتبارها حالة أولية مبهمة من صنع الله . ومن خلال التطورات الأخيرة فى المعرفة ، تظهر هذه السمات بصورة طبيعية وأتوماتيكية نتيجة لقوانين الفيزياء . والحالة الأولية ، لم يكن لها أية تأثير على بنية الكون الذى برز فيما بعد حتى لو استوعبنا هذا المفهوم فى سياق كمى نتاج قانون **law** . وهكذا يمكن أن نرى الكون وكأنه نتاج قانون **law** بدلا من أن يكون نتاج صدفة **chance** .

وحقيقة أن طبيعة الكون الحالى قد تتطور من أصل الانفجار العظيم – حيث تضمنتها قوانين الفيزياء – تفرض بقوة أن هذه القوانين لم تجىء بصوره عرضية أو اتفاقيه بل تتضمن على عنصر التصميم **Design.** وعلى الرغم من انحدار المعتقدات الدينية التقليدية ، فإن الرجال والنساء مستمرون فى البحث عن معنى للوجود . وتكشف الفيزياء الحديثة وعلم الفلك الحديث ، عن أن كوننا المنظم أبعد ما يكون عن مجرد حادثة هائلة . واعتقد أن دراسة للتقدم الأخير فى هذه الموضوعات ستكون مصدر إلهام عظيم فى البحث عن معنى الحياة .

وكما هو الحال دائما فى العلم ، فإن النظريات والنماذج تعتبر تجريبية ، وعرضة للخطأ كلما حدثت اكتشافات جديدة . والعديد من الموضوعات التى نوقشت فى هذا الكتاب تعد فى طليعة الأبحاث الحالية . ولا أشك فى أن التطورات المستقبلية ستتمخض عنها مراجعة شاملة لمعانيها. ونتيجة لذلك ، يتطلب الحرص الاهتمام بإيجاد بعض النتائج التفصيلية . ومع قولى هذا ، فإننى لا اعتقد أن التطورات المستقبلية سوف ترتاب أو تؤثر فى الموضوع الأساسى للكتاب . لأنه لأول مرة فى التاريخ يتوفر لدينا نظرية علمية كاملة عن الكون بأسره ، بحيث لا يمكن أن يقع شىء مادى أو نظام طبيعى خارج القوانين العلمية الأساسية . ونظرية الكون

التى نعرض لها هنا قد تظهر عدم صحتها ، لكنها تمكننا حاليا على الأقل من أن نستشف كيف يبدو شكل نظرية كاملة عن كل الوجود .. وتمكننا من أن نرى كيف تكون نظرية كهذه ممكنة . وأن نفهم الكون باعتباره نتاج قوانين طبيعية يسهل على العلم التوصل إليها ، ومع ذلك يتضمن على الوحدة والتناسق التى تعلن بإصرار عن إحساس قوى بالهدف من وجوده .

2 - موقع الأرض بالنسبة للكون :

إحدى الذكريات التى أتذكرها من طفولتى المبكرة ، سؤالى لوالدى أين ينتهى الكون ؟ وكيف يمكن أن ينتهى ؟ وقد أجاب: " إذا كان للفضاء نهاية فيجب أن يكون هناك شىء آخر يقع ورائه". لقد كانت أول تجربة لى مع مفهوم اللانهاية ، ولا زلت أتذكر مدى الحيرة والرهبة والسحر. وكما اتضح لى بعد ذلك لم يكن الموضوع بهذه السهولة التى أقنعنى بها والدى .

لكى ندرك حجم الكون، يجب أن نعرف فى البداية موقعنا فيه. فكوكب الأرض ومعها الكواكب الثمانية الأخرى التى تدور حول الشمس ، تشكل المجموعة الشمسية **solar system** والشمس نجم نموذجى ، والنجوم الأخرى التى نراها أثناء الليل هى نجوم قريبة إلى حد ما ، ويحتمل أن يكون لها أيضا نظم كوكبية. والنجوم ليست مبعثرة بطريقة عشوائية فى الفضاء ، لكنها منتظمة فى بنية ضخمة على هيئة قرص يسمى بالمجرة **galaxy** ، حيث تعرف مجرتنا باسم درب التبانة **Milky Way.** ونحن نرى معظم النجوم عندما ننظر إلى مستوى القرص. وتقع الشمس فى هذا القرص على بعد ثلثى المسافة من مركزه . ولا توجد للمجرة حافة مفاجئة ، فالتركيب بأسره يقع داخل هالة منتفخة كبيرة من نجوم موزعة على امتداد شاسع .

وعندما ننظر إلى ما وراء حدود المجرة ، نستطيع أن نرى مجرات أخرى تشابه مجرتنا تماما ، ومبعثرة من حولنا فى هيئة تجمعات عنقودية. وتعتبر مجرة المرأة المسلسلة **Andromeda** أقرب المجرات إلينا ، حيث يمكن رؤيتها بالعين المجردة على هيئة بقعة من الضوء نحو الجنوب . وهذه المجموعة المحلية هى بالتالى جزء من تجمع أكبر من التجمعات المجرية ، وهلم جرا. وتكشف أجهزة التليسكوب الحديثة عن كون ملىء بالتجمعات المجرية ، إذ يتوزع آلاف الملايين منها بشكل منتظم فى أرجاء الفضاء . وتعتبر المجرات وحدات بناء الكون .

والمسـافات الفلكيـة لها قيم هائلة ، فعندما نعبر عنها بالأميال أو الكيلومترات نجد أنفسنا على الفور شاردين فى متاهة الأصفار ، هناك وحدة قياس مناسبة هى السنة الضوئية light year ، وهى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة واحدة . وتبلغ السنة الضوئية حوالى 9.5 مليون مليون كيلومتر ، لكننا نستطيع تصورها بسـهولة إذا تذكرنا أن ضوء الشمس يصل إلى الأرض بعد ثمانية دقائق ونصف دقيقة ، حيث تبعد عنها 150 مليون كيلومتر . ويبعد القمر عن الأرض حوالى ثانية ضوئية واحدة . وبهذه الوحدات يصل قطر المجموعة الشمسية بضع ساعات ضوئية . ويبعد أقرب نجم إلينا مسافة أربع سنوات ضوئية. ويصل قطر المجرة حوالى 100,000 سنة ضوئية، وتحتوى المجرة على ما لا يقل عن 100,000 مليون نجم. وتقاس المسافات بين المجرات الأخرى بملايين السنوات الضوئية. إذ تقع مـجرة المرأة المسلسلة المجاورة لمجـرتنا على بعد حوالى 2.5 مليون سنة ضوئية .

ولم تنشـأ هذه الصـورة عن الكون إلا فـى أزمنة حديثة نسبيا . إذ كان من الأمور المسلم بها فى جميع الثقافات القديمة أن الأرض تقع فى مركز الكون . وعلى الرغم من أن علم الفلك كان متقدما جدا فى العديد من المجتمعات القديمـة ، إلا أن المعرفـة الصحيحة لطبيعة النجوم والبنية الشاملة للكون لم تتضح إلا فى عصر العلم الحديث .

اتجهت الأفكار الفلكية إلى إظهار أعمال الفلاسفة اليونانيين القدماء. فقد تصور فيثـاغور pythagoras [5] فـى القـرن السـادس قبـل المـيلاد أن الأرض كرويـة ، وتقـع فى مـركـز كـون دائرى ، وتنتظم الأجسـام السـمـاوية فى حـركـاتـهـا المدارية الدائرية بالكمال الهندسى. وعلى مدى قرون طور اليونانيون هذا الموضوع الأساسى ، ووصلوا إلى النموذج المعقد لكلوديوس بطليموس Claudius Ptolemy فى القرن الثانى للميلاد . واشتمل كون بطليموس على مجموعة كرات دوارة متشابكة ، قصد منها إعادة بناء الحركات المعقدة للقمر والكواكب .

وعادة ما كانت هذه النماذج الفلكية الأولية محدودة الحجم ، بيد أنه كان هناك اهتمام كبير بطبيعة الحافة الكونية cosmic edge . وقد اهتم الشاعر الرومانى لوكريتوس Lucrétius (96 – 55 ق.م) بالموضوع ، عنـدمـا سأل مـاذا سيحدث لو أن شخصا اتجه نحو " الحد الأقصى " وقذف بحربة ، هل من عائق يعترض مساره ؟ وكـان الـرد بالإيجاب ، حيـث اعتـبر أن الكـون مرتبـط ببعـض أنواع الحوائط أو الأسطح المنيعة ، وهى فكرة غريبة ظلت باقية حتى زمن كبلر [6] Kepler فى القرن السابع عشر .

وفى مقابل الحافة الحادة ، حبذ أرسطو [7] الزوال التدريجي للحيز المادى للكون إلى عالم من "الأرواح" والمواد الأثيرية. وحتى وقتنا هذا ، لا يزال البعض يتمسكون بهذه الفكرة. والكثير من خرافاتنا مبنية على أفكار مشابهة . وفى حقيقة الأمر ، لا تزال تشير كلمة "سماوى" Celestial إلى كل ما هو فلكى و"روحانى" . وكان الفلك التقليدى ينظر إلى السماء باعتبارها " فراغ" Void. وفى هذا النموذج ، اعتبرت مادة الكون محدودة ، غير أن حدودها الخارجية لا تبين تخوم كل الوجود . وبدلا من ذلك ، يقع الفضاء المفرغ فى الوراء ممتدا إلى ما لا نهاية . وأيا كانت طبيعة الحافة الكونية ، فقد كانت الأرض – رغما عن ذلك – مركز الكون .

وفى العصور الوسطى تداعت هذه الأفكار ،عندما أعلن نيكولاوس كوبرنيكوس [8] Nicolaus Copernicus أن الشمس – وليست الأرض– هى التى تقع فى مركز الكون ، وأن الكواكب تدور حول هذا المركز. كان نموذج كوبرنيكوس عن الكون لا يزال محدود الحجم ، وله حافة خارجية ، عبارة عن دائرة تحتوى على النجوم الثابتة. وبعد ذلك بفترة قصيرة ، اقترح الأيرلندى توماس ديجز Thomas Digges إلغاء حافة كوبرنيكوس الخارجية. واقترح بدلا منها نموذجاً تنتشر خلاله النجوم فى فضاء غير محدود. والحق أن مفهوم الكون غير المحدود an infinite universe أيده لوكريتوس من قبل ، كما ساند ما سمى بالمذهب الذرى. بيد أن المفاهيم الدينية غالبًا ما كانت تعترض الطريق ، وتحيط الموضوع بسحابة من الغموض. وعلى سبيل المثال ، أحرقت الكنيسة جيوردانو برونو [9] Giordano Bruno عندما اقترح بأن هناك عدد لا نهائى من العوالم .

وكان لازدياد أهمية الفلك ، وخاصة تطور التليسكوبات الكبيرة واختراع المطياف Spectroscope (منظار التحليل الطيفى) ، أن تغير مفهوم الإنسان عن الكون بشكل جذرى . وقد نظر إلى مجرة درب التبانة على أنها "جزيرة كونية " لها كيان مستقل . وحتى نهاية القرن الماضى ، كان لا يزال الجدل محتدما فيما إذا كانت مجرة درب التبانة تقع بمفردها فى فراغ غير محدود ، أو ما إذا كانت هناك "جزر كونية" أخرى وراء مجرتنا .

ولم تتحدد الطبيعة الحقيقية للكون بشكل كامل إلا فى عشرينيات القرن الحالى ، عقب الأبحاث التى قام بها الفلكيان الأمريكيان هارلو شابلى [10] Harlow Shapley وأدوين هابل [11] Edwin Hubble . فقد أكدا فى النهاية على أن العديد مما يسمى بالسدم Nebula – وهى بقع الضوء الغائمة التى يعرفها الفلكيون منذ فترة طويلة –

ما هى إلا مجرات أخرى تقع وراء مجرتنا. وعلى قدر استطاعة تلسكوباتنا سبر أغوار الفضاء ، فلا تزال توجد مجرات . ولا يوجد دليل على نقص كثافتها ، ولا يوجد إيحاء عن حافة أو حد لمجموعة المجرات . ويفضل علماء الفلك الاعتقاد بأنه لا توجد حافة لمجموعة المجرات، وأنه طالما وجد فضاء فستوجد مجرات . وعلى الرغم من هذا لا يزال العديد من الناس (بما فيهم بعض العلماء) يتصورون الكون على أنه مجموعة مجرات يحيط بها فراغ غير محدود. وغالبًا ما تشير المقالات الشعبية إلى أن "حافة الكون" ، تتضمن بعض الحدود الخارجية ، التى لا يوجد ورائها سوى الفراغ . ومع ذلك ، فإن الرأى الرسمى يقول بأنه لا توجد حافة للكون ولا مركز كونى ، فالكون ليس مجموعة مجرات تقع داخل فضاء ، ولكن الأصح ، أن الكون يحتوى على فضاء .

والغريب فى الأمر ، أنه ليس من الضرورى أن نفترض أن كونا بلا حافة هو كون لا متناه فى الحجم ، ذى عدد لا نهائى من المجرات. ومن أهم الأشياء المثيرة للفضول فى علم الفلك الحديث ، هو أن الكون يمكن أن يكون متناه ، ومع ذلك يكون بلا حدود. فإذا بدا لك هذا تناقضا ، ففكر فى خواص الدائرة. فبوجه من الوجوه، تمضى الدائرة "إلى الأبد". فليست لها حد أو حافة وليس لها مركز (على الأقل ليس المركز الذى يقع داخل الدائرة) . ومع ذلك ، فالدائرة محدودة . ونستطيع القول بأن الدائرة هى خط ينحنى ويصل بعضه البعض. ومن الممكن تعميم هذه الفكرة على ثلاثة أبعاد ونتخيل أن كونا ينحنى ويصل بعضه البعض ليشكل فراغا محدوداً ، دون أن يكون له حدود . ويجد العديد من الناس بعض الصعوبة فى تخيل كون مقفل ومحدود ، فهم يرغبون دائمًا فى تخيل أن هناك شيئًا ما يقع خارجه. وعلى الرغم من ذلك ، يمكن أن يكون لهذا التصور معنى منطقى ، ويمكن إعطائه وصفًا رياضيًا صحيحًا . ومع ذلك فلا يوجد اتفاق بين علماء الفلك على ما إذا كان الكون بهذه الصورة .

وإن لم يكن هناك حد خارجى فى منطقة المجرات ، فسوف يكون السؤال – أين نحن – بلا معنى ؟ . فالفضاء ذاته ليس له معالم ، وحتى فى المناطق الأكثر بعدا فإن السمة العامة للكون تشبه كثيرا المنطقة المجرية المجاورة . وعلى هذا المقياس ، يكون لمفهوم " أين ؟ " معنى واضح ، لأننا نستطيع تحديد موقعنا بالنسبة إلى بعض الأشياء المجاورة ، مثل الشمس أو مركز المجرة ، لكنه خلال الكون ككل لايوجد مكان مفضل يمكن منه تحديد مواقع الأشياء . إن الموقف يشبه الوقوف على رقعة مخططة بالمربعات ، يمكنك أن تعطى معنى لمدى بعدك عن أقرب ركن فى مربع ، غير أن وضعك العام على الرقعة يعد تصوراً بلا معنى .

3 - الزمان الذى نعيشه :

على الرغم من أننا لا نستطيع أن نفهم بشكل عام سؤال " أين موقعنا فى الكون ؟ " فغالبًا ما يتحدث علماء الفلك عن عمر الكون . وما ينطبق على الزمان ينطبق على المكان ، وهناك تاريخ طويل من الجدل والارتباك الذهنى حول هذا الموضوع أيضا . فقد علمنا أفلاطون (12) Plato أن عالم مخلوقات الله كان كاملا ، ولهذا السبب لا تتغير سماته العامة . وقد أكد على أنه بالرغم من أننا نلاحظ تغيراً يوماً بعد يوم ، فإن الأشياء – على مدى فترات زمنية طويلة – تبقى على حالتها تقريبا . فلو كان اعتقاد أفلاطون صحيحا، فالعالم إذن لم يخلق فى لحظة من لحظات الزمن ، وسيظل يكابد للبقاء والدوام إلى الأبد . وسيصبح السؤال " فى أى زمان نحن ؟ " بلا معنى ، لأن الزمن لم يكن له بداية.

والأوصاف الرمزية للتكوين (الخلق) كثيرة ، وعادة ما تكون خيالية بشكل مفرط . ولم يتطور التفسير العلمى للخلق بشكل مفصل إلا فى العصور الحديثة . وترجع أصوله إلى أعمال إدوين هابل فى العشرينيات عن الأجسام السماوية الموجودة خارج المجرة " درب التبانة " فقد كان لأبحاثه الدقيقة عن أطياف المجرات البعيدة ، أن هابل قام باكتشاف غاية الأهمية ، حيث وضع الأساس لكل علوم الفلك الحديثة. فقد اكتشف من طريقة تشتت ضوء المجرات – أو الإزاحة الحمراء **Red Shift** – أنها تتباعد عنا بسرعة كبيرة جداً . وقد أوضحت الأبحاث أن المجرات الأخرى تبتعد عن بعضها أيضاً . وفى حقيقة الأمر، يعتبر الكون كله ، فى كل مكان ، فى حالة تمدد.

ويمكن أن يؤدى موضوع الكون المتمدد إلى صعوبات فى التصور، وغالبا ما يزيد من سوء الالتباس حول " أين؟ ". وهناك رغبة شديدة فى اعتبار التمدد على أنه نتاج انفجار كتلة متمركزة من المادة ، تندفع شظاياها نحو فراغ سابق الوجود بغير حدود . وهذه الصورة تصف الكون وكأن حجمه يزداد باستمرار ، كلما تراجعت الأجزاء البعيدة من مجموعة الشظايا أبعد وأبعد نحو الفراغ. ومع ذلك، فقد رأينا أن هذا المفهوم العام عن الكون مفهوما خاطئا جدا ، لأنه يفترض وجود حافة كونية . وهناك تصور آخر أكثر دقة ، حيث يعتبر الفضاء بين المجرات هو الذى يتمدد. والتصور الذى يسعفنا هنا هو أن نتصور بالونة تنتفخ ببطء . تخيل سطح بالونة وقد غطى بنقاط تمثل المجرات، فكلما تمددت البالونة تمدد نسيجها ، وتباعدت النقاط عن بعضها (انظر شكل **1**) . لاحظ أن النقاط نفسها لا تقترب أو تبتعد عن أى مكان بالفعل خلال السطح . ويحدث تباعد للنقاط لأن السطح نفسه يتمدد .

والكون المتمدد أشبه ما يكون بشكل ثلاثى الأبعاد لبالونة متمددة ، وعلى ذلك فمن الخطأ الاعتقاد بأن المجرات تندفع خلال الفضاء بعيدا عن مركز تمدد مشترك ، إنه تأثير الفضاء بين المجرات المنتفخ أو المتمدد ، هو الذى يجعل المجرات تتباعد عن بعضها البعض. وقدرة الفضاء على التمدد يعد نتيجة لنظرية آينشتاين العامة عن النسبية التى سنشرحها فى الفصول القادمة. وحقيقة أننا نرى المجرات البعيدة تندفع بعيدا عنا لا يعنى أننا فى مركز الكون المتمدد ، فإن أية نقطة على سطح البالونة يمكن اعتبارها مركز سطح البالونة (ليس للسطح مركز) . ونتيجة لذلك ، فإن الكون لا يتمدد نحو أى شىء ، إنه ببساطة يتزايد فى الحجم فى كل مكان.

لو كان الكون ينتفخ ، فلا بد أنه كان منكمشا فى الماضى ، وعندما يسترجع المرء ماضى الزمن يستطيع أن يستنتج أنه منذ حوالى **15000** مليون سنة مضت ، كانت مادة الكون شديدة الانضغاط . وقد أدى ذلك إلى نظرية الانفجار العظيم **big bong Theory** لنشأة الكون ، التى تفترض أن الكون جاء كله إلى الوجود نتيجة انفجار هائل .

ووفقا للتفسير الأخير لهذه النظرية ، فقد تميزت المراحل الأولى للانفجار العظيم بحرارة وكثافة مفرطة ، لدرجة أنه لم يكن لأى شىء من تركيبات المادة التى نلاحظها حاليا فى الكون – بما فيها الذرات – كان يمكن أن تتواجد . وقد تم التوصل إلى تأكيد مهم لهذا السيناريو فى عام **1965** ، عندما اكتشف بالصدفة اثنان من علماء الاتصالات يعملان لدى شركة " بيل " الأمريكية للتليفونات مصدرًا غريبًا من الأشعة قادم من الفضاء . وسرعان ما استطاع الفيزيائيون والفلكيون تحديد إشعاع خلفية الكون **cosmic background radiation** باعتباره من بقايا الحرارة العالية الأولية ، أو الوميض الذابل من الانفجار العظيم ، الذى حدد بداية الخلق منذ أكثر من **15000** مليون سنة مضت .

وكثيرا ما يساء فهم طبيعة الانفجار العظيم ، لأنه يصور غالبا على أنه انفجار كتلة من مادة فى فراغ سابق الوجود . لكننا كما رأينا ، فإنه لا يوجد فراغ خارج الكون. ومن الأفضل تصور الانفجار العظيم على أنه حدث جاء فيه الفضاء نفسه إلى الوجود. فالانفجار العظيم إذن ، لم يكن حدثا وقع داخل الكون ، بل إنه جاء بالكون إلى الوجود بكليته من "عَدْم" بمعنى الكلمة .

وهناك سمة مهمة من سمات الانفجار العظيم تتعلق بالزمن ، حيث يعتقد العديد من علماء الفلك أن الزمن لم يكن موجودا قبل الانفجار العظيم ، أى أنه لم يكن هناك

"قبل" . وأحد الدروس المستفادة من الفيزياء الحديثة هى أن الزمن والفضاء لم يكونا ببساطة موجودان، فهما يشكلان جزءا من الكون الطبيعى . ونتيجة لذلك ، فإذا كان الانفجار العظيم قد حدد أصل الكون المادى ، فإن الفضاء والزمن لم يجيئًا إلى الوجود إلا بعد ذلك . وفى الواقع ، فإن تحديد خلق الكون ببداية الزمن ليس فكرة حديثة ، ففى القرن الرابع الميلادى كتب القديس أوغسطين Saint Augustine [13] : " إن العالم خلق مع الزمن وليس خلال الزمن " .

ويعنى الظهور المفاجئ للكون من انفجار عظيم أن من المعقول أن نتساءل فى أى زمان نحن الآن ؟ إذ يمكن إرجاع كل الفترات الكونية لهذا الحدث الفريد منذ حوالى 15000 مليون سنة مضت . كما يمكننا رسم خريطة لتاريخ الكون على أنه يتطور على مدى فترات زمنية طويلة ، وننسب كل التواريخ إلى هذه البداية المطلقة للزمن .

4 - المادة التى تشكلنا منها :

الإجابة البسيطة على هذا السؤال التالى هى أننا مادة. ولكن ما هى المادة ، وكيف جاءت إلى الوجود؟ هذا المدى الهائل من الشكل واللون والكثافة ونسيج الأشياء المادية ، إنها بالفعل مهمة بائسة أن نحاول فهم طبيعة المادة . ومع ذلك فمنذ ألفين وخمسمائة سنة مضت وضع الفلاسفة اليونانيون أساس هذه المعرفة ، عندما بدأوا فى تفسير العالم من خلال تحويله إلى علاقة تأثير وتأثر لمكوناته الأولية. وفى القرن السادس قبل الميلاد ، افترض تاليس[14] Thales أن الماء هو العنصر الأولى لجميع الأشياء ، بيد أن مفكرين آخرين جاءوا بعده ، تصوروا أن هناك عناصر أرضية أربع وهى: التراب والهواء والنار والماء. وقد كان من المعتقد أن هذه العناصر الأربعة يمكنها أن تتحد مع بعضها البعض فى صور عديدة من الأشكال والتكوينات. وكانت الأجرام السماوية تتكون من مادة خامسة تسمى الأثير Ether أو الجوهر. وقام الفلاسفة اليونانيون بخطوة مهمة ، حيث رفضوا على الأقل البرهان الساحر والملاحظة جوهر المنهج العلمى . وقد قام أناكساجوراس [15] Anaxagoras (500 - 428 ق.م) بإدخال تحسينات كبيرة على النظريات السابقة ، عندما تصور كونا غير متناه يشغله عدد لا متناه من الجسيمات أو "الذرات" . علاوة على ذلك ، اقترح أناكساجوراس أن السماوات تكونت من نفس المواد التى تكونت منها الأرض ، مما

أودى بحياته. وطور ليوسيبوس **Leucippus** أيضا النظرية الذرية للمادة **the atomic theory of matter** ، التى وضع تفاصيلها فى ذلك الحين تلميذه ديموكريتوس [16] **Democritus**. غير أن النظرية قوبلت بازدراء ، لأن فلاسفة عظام من أمثال أرسطو وأفلاطون وسقراط رفضوها. ومع ذلك ، أحيا أبيقور **Epicurus** (**341 - 270** ق . م) فيما بعد الأفكار الذرية .

وكانت السمة الجوهرية فى المذهب الذرى أن العالم يتكون من شيئين اثنين فقط : ذرات لا يمكن تفتيتها، وفراغ **Void**. وتظهر الذرات فى عدد من الأشكال ، ويمكن أن تتحد مع بعضها البعض بعدد من الطرق المختلفة لتكوين نظم مركبة. والذرات لا يمكن تجزئتها، وتتحرك بسهولة خلال الفراغ ، وهى فى حالة نشاط مستمر، فهى دوما تتصادم وتتحد مكونة أشكال جديدة ، وتخضع لقوانين السبب والنتيجة المنطقية .

ظلت النظرية الذرية ، على مدى قرون مجرد تأمل ، لأن الذرات من الصغر بحيث لا يمكن رصدها بصورة مباشرة. وظلت الأفكار المنافسة للتتابع المستمر **Continuum** ، التى تكون فيها المادة قابلة للانقسام بصورة لا نهائية ولا تحتوى على أى فراغ ، باقية حتى القرن العشرين . ومع ظهور كيمياء مبنية على أسس علمية ، دخلت النظرية الذرية الفكر العلمى الحديث . وأقام الكيميائى الإنجليزى جون دالتون **John Dalton** (**1766-1844**) الدليل على أن للذرات أوزانًا مختلفة ، وتتحد بنسب ثابتة معينة لتكوين مركبات ، بيد أن الدلالة المادية المباشرة عن الذرات كانت لا تزال غير موجودة . ومع نهاية القرن التاسع عشر فقط ، ومع اكتشاف الإليكترون والنشاط الإشعاعى ، أمكن فى النهاية التعرف على الذرات. فسرعان ما أصبح من الواضح أنه توجد أنواع عديدة مختلفة من الذرات ، تناظر كل منها الشكل الحديث لعنصر كيميائى . ويوجد حاليا حوالى تسعون عنصرا كيميائيا بصورة طبيعية تم التعرف عليها فى الأرض ، وينتج من كل منها دستة أو أكثر بطريقة اصطناعية.

وفى عام 1909، وضع الفيزيائى النيوزيلاندى أرنست رذرفورد[17] **Ernest Rutherford** البناء الأساسى للذرة ، حيث قذف الذرات بجسيمات ألفا [18] **alpha particles** من مصادر مشعة ، وحدد من نمط تفرقها أن الذرات لم تكن تلك الكتل

الصلبة من المادة غير القابلة للانقسام ، كما اعتقد بعض الفيزيائيين ، لكنها أجسام مركبة تتركز معظم كتلتها فى نواة مركزية ، تحيط بها سحابة من الإليكترونات المتحركة الخفيفة (انظر شكل 2) . ويشبه هذا التركيب نظام كوكبى . حيث تنشأ قوة التجاذب ، التى تحافظ على الإليكترونات فى مداراتها من خلال الشحنة الكهربية الموجودة على النواة .

ولم تفهم طبيعة النواة **Nucleus** بصورة صحيحة إلا فى أوائل الثلاثينيات . وهذه أيضا ، ظهر أنها نظام مركب يتكون من كرة من البروتونات **Protons** بالإضافة إلى جسيمات متعادلة كهربيا تسمى نيوترونات **.Neutrons** ويعتقد حاليا أن كلا من البروتونات والنيوترونات تتكون بالتالى من كيانات أصغر تعرف بالكواركات **quarks** [19] . ويعتقد العديد من الفيزيائيين أن الإليكترونات والكواركات جسيمات أولية حقيقية بالمفهوم اليونانى القديم . فقد بدا أنه لا يوجد لها تركيب داخلى أيا كان ، وتشكل معا كل صور المادة العادية المعروفة .

ومن الواضح أن المادة بناء ذو تسلسل هرمى ، حيث تستخدم الكواركات فى بناء البروتونات والنيوترونات ، والتى بالتالى تبنى النوى التى تتكون منها الذرات . وتتحد الذرات لتكوين الجزيئات **Molecules** أو البلورات . أى أن هذه المواد الأساسية تصنع كل الأشياء الصلبة الموجودة حولنا. وإذا مضينا صعودا فى الحجم ، فسوف نصل إلى مجموعات الكواكب ، ومجموعات النجوم ، وفى النهاية المجرات ، وحتى المجرات بالتالى تتجمع فى مجموعات أكبر وتجمعات أعظم . ويجىء الإنسان فى مكان ما فى وسط هذا التسلسل الهرمى . والشىء بالشىء يذكر ، فحجمنا بالنسبة لذرة كحجم نجم بالنسبة لنا .

ومن المعروف تماما أن بعض العناصر ، مثل الأكسجين والحديد توجد بكميات وفيرة ، فى حين أن بعض عناصر أخرى مثل اليورانيوم والذهب توجد بصورة نادرة ، لدرجة أن الناس تتصارع من أجل الحصول عليها . وإذا قدرت الوفرة النسبية من العناصر فى الكون ككل فسوف يظهر لنا نمط رائع ، فحوالى 90 ٪ من مادة الكون هى من هيدروجين ، الذى يعتبر من أبسط المواد وأخفها. وتتكون ذرات الهيدروجين من بروتون واحد وإليكترون واحد. وتتكون معظم الـ 9 ٪ الباقية من المادة من الهليوم ،

الذى يعتبر العنصر الأبسط التالى. وتتكون نوى الهليوم من بروتونين ونيوترونين . وتشكل العناصر الباقية أقل من 1 ٪ من مجموع المادة . وباستثناء الحديد ، فإن الاتجاه العام هو أن العناصر الأثقل ، كالذهب والرصاص واليورانيوم تعتبر أقل وفرة بكثير من عناصر خفيفة ، مثل الكربون والنيتروجين والأوكسجين.

وهذا النمط من الوفرة المتباينة يعد أكثر إيحاء ، إذ تحتوى النوى الثقيلة على العديد من البروتونات والنيوترونات بينما تحتوى النوى الأخف على القليل منها . وإذا أمكن دمج النوى الخفيفة فسينتج عنها نوى ثقيلة. ولذلك السبب يستهوينا أن نفترض أن الكون قد بدأ فقط بالهيدروجين العنصر الأبسط ، وتكونت العناصر الأثقل بعد ذلك فى مراحل متعاقبة من الاندماج النووى Fusiom وتفسر هذه النظرية بشكل مباشر سبب ندرة النوى الثقيلة. ويتطلب الاندماج درجة حرارة عالية جدا للتغلب على النفور الكهربى بين النوى. وكلما احتوت نواة على بروتونات أكثر تزايد النفور ، وأصبح من الصعب إضافة المزيد من البروتونات فى تفاعل اندماج .

وتفسير كيف جاءت العناصر الكيميائية إلى الوجود ، ما هو إلا حل جزئى من اللغز المتعلق بأصل المادة . ولا يزال المرء يسأل كيف جاءت البروتونات والنيوترونات والإليكترونات التى تتكون منها هذه العناصر إلى الوجود فى بداية الأمر.

أدرك العلماء منذ زمن بعيد أن المادة ليست دائمة ، لكنها يمكن أن تتشكل أو تفنى . فإذا تركز قدر كاف من الطاقة ، يمكن أن تأتى إلى الوجود جسيمات جديدة من المادة . ويمكننا تصور المادة على أنها شكل من أشكال الطاقة المختزنة. وحقيقة أن الطاقة يمكنها أن تتحول إلى مادة يوحى بأن الكون بدأ بدون أية مادة ، وأن كل المواد التى نراها حاليا قد تولدت من طاقة الانفجار العظيم. بيد أن هذه النظرية الجذابة تواجه عقبة خطيرة. ويعد تجسد المادة فى المعامل حاليا من الأمور الروتينية ، غير أن كل جسيم متجسد جديد يصاحبه نوع من الشريك "السلبى"، يعرف بالجسيم النقيض antiparticle [20]. وعلى سبيل المثال ، فالإليكترون (الذى يحمل شحنة كهربية سالبة) يتكون دائما مع إليكترون نقيض ، يسمى بوزيترون positron ، له نفس كتلة الإليكترون ، ولكن ذا شحنة كهربية موجبة ، وبالمثل ، يصاحب كل بروتون متشكل بروتونا نقيضا .

وعندما يقابل جسيم جسيمًا نقيضًا ، يحدث إفناء متبادل وانطلاق كل الطاقة الحبيسة . ومن الواضح أن خليطًا من المادة والمادة النقيضة يعد خليط غير ثابت تماما . ولهذا السبب ، يبدو أن جزءًا ضئيلاً من الكون قد تكون من المادة النقيضة . والمشكلة حينئذ هى فهم كيف جاءت المادة إلى الوجود ، بدون كمية مساوية من المادة النقيضة . وسوف نرى كيف اقترحت الاكتشافات الحديثة حلا لهذه المشكلة .

ولا يقتصر تجسد المادة من الطاقة على جسيمات مألوفة مثل الإليكترونات والبروتونات والنيوترونات ، إذ يمكن أن تنشأ أشكال أخرى غريبة. وفى واقع الحال ، فقد تكونت مئات من الشظايا دون الذرية المختلفة فى المعامل ، عند تصادم جسيمات سريعة الحركة باستخدام معجلات accelerators وهذه الجسيمات الأخرى جميعها غير مستقرة وتتحلل بسرعة إلى صور مألوفة . ولما كانت أعمارها قصيرة ، فليس لها دور رئيسى تلعبه فى الكون .

5 - الاستدلال على القوى الكونية :

لو لم تكن هناك قوى ، لانتقلت جسيمات المادة من مكان لآخر بصورة حرة متجاهلة لوجود بعضها بعضا. ووجود القوى يمكن الجسيمات من أن تتعرف وتستجيب لجسيمات أخرى ، ونتيجة لذلك تظهر سلوكًا جماعيًا .

وعندما يتحدث مهندس عن القوى ، فعادة ما يكون لديه شيئًا يمكن تصوره بسهولة ، ويمكن أن نفهم من الخبرة المباشرة كيف يمكن أن تعمل هذه القوى على تحريك المادة من مكان لآخر. ومع ذلك ، هناك مظاهر أخرى للقوى أقل ألفة ، مثل الانحلال الإشعاعى Radioactive decay لنواة ذرية ، أو انفجار نجم. ولما كانت كل المادة تتكون من جسيمات ، فإننا يجب أن نلجأ فى النهاية إلى فيزياء الجسيمات لتفسير القوى. وعندما يحدث هذا ، نجد كل القوى، أيًا كانت مظاهرها العامة ، يمكن اختصارها إلى أربعة أنواع أساسية فقط وهى: الجاذبية والكهرومغناطيسية ونوعان من القوى النووية (الضعيفة والشديدة) . وسوف نرى فى الفصول الأخيرة، كيف تنتقل القوى بالفعل من جسيم لآخر. وسوف نرى أيضًا أن القوى والجسيمات على علاقة وثيقة ببعضها البعض ، لدرجة أننا لا نستطيع أن نفهم أحدها دون أن نفهم الأخرى .

وكلما تزايد مقياس الحجم ، تتغير كذلك الأهمية النسبية للقوى الأربع . فعلى مستوى الكواركات والنوى ، تكون القوتان النوويتان هما السائدتان. القوة النووية الشديدة هى التى تربط الكواركات فى صورة بروتونات ونيوترونات ، وتسيطر على الأنوية الذرية معا. وعلى مستوى الذرات ، تعتبر الكهرومغناطيسية القوة السائدة ، إذ تعمل على ضم الإليكترونات إلى النوى ، وتمكن الذرات من الاتحاد مع بعضها فى صورة جزيئات. ومعظم القوى " العادية"، مثل قوة الشد فى سلك ، أو دفع جسم نحو آخر ، تعتبر أمثلة للتأثير العام للقوى الكهرومغناطيسية. وعندما نصل إلى النظم الفلكية ، تكون الجاذبية هى القوة المهيمنة. وعلى ذلك، فإن كل قوة تجد ما يخصها عند مستوى حجم معين ، ولكل منها دورا مهما تلعبه فى تشكيل سمات العالم المادى .

وفى السنوات الأخيرة ، عاد الفيزيائيون إلى التشكيك فى العلاقة بين القوى الأربع التى تتحكم فى مجموعها فى الكون . هل توجد صلة بين هذه القوى الأربع ؟ هل القوى الأربع مجرد أربعة مظاهر مختلفة لقوة عظمى superforce أساسية واحدة ؟ . فإذا كانت هذه القوة العظمى موجودة ، فسوف يرجع لها فى النهاية كل النشاط الموجود فى الكون ، بداية بتشكيل الجسيمات دون الذرية ، وانتهاء بانهيار أحد النجوم . وإذا كشفنا عن هذه القوة العظمى فسوف تمدنا بقوة تفوق كل التصور ، وربما يمكنها أن تفسر كيف جاء الكون إلى الوجود فى المقام الأول .

الهوامش

(1) فيزياء الطاقات العالية: فرع من الفيزياء يعنى بدراسة خصائص وسلوك الجسيمات الأولية ، خاصة خلال تصادمات الجسيمات ذات الطاقة العالية، وانحلالها .

(2) نظرية المجال الموحد: نظرية توحد بين نظريتين فيزيائيتين أو أكثر، بحيث يمكن استنتاج بعض الظواهر التى لا يمكن استنتاجها من النظريات المنفصلة، وعلى وجه الخصوص النظرية التى تسعى إلى توحيد خصائص مجالات الجاذبية والكهرومغنطيسية ، بحيث يمكن استنتاج خصائصها بمجموعة واحدة من المعادلات، وقد فشلت جميع هذه المحاولات .

(3) مايكل فارادى (1971 - 1867) : كيميائى وفيزيائى بريطانى. اكتشف بعض الظواهر الكهربائية والمغنطيسى.

(4) جيمس كلارك ماكسويل (1831 - 1879) : فيزيائى أسكتلندى يعتبر أحيانا أعظم الفيزيائيين بعد نيوتن .

(5) فيثاغورث (المتوفى عام 497 ق . م) : رياضى وفيلسوف يونانى. قال بأن الحقيقة فى أعمق أعماقها رياضيةوبأن العدد أساس كل شىء .

(6) يوهانز كبلر (1571– 1630) : عالم ألمانى يعتبر أحد مؤسسى علم الفلك الحديث .

(7) أرسطو (1473 - 322 ق . م) فيلسوف يونانى .

(8) نيوكولاوس كوبرنيكوس (1473 - 1543) : عالم فلك بولندى. قال بأن الأرض وسائر الكواكب السيارة تدور حول الشمس وحول نفسها .

(9) جيوردانو برنو (1548 - 1600) : فيلسوف وعالم فلك إيطالى. أعدم حرقا بالنار .

(10) هارلو شابلى (1885 - 1972) : عالم فلكى أمريكى درس المجرات وأظهر أنها تنزع إلى التجمع فى شكل عناقيد .

(11) أدوين هابل (1889 - 1953) : عالم فلكى أمريكى أدت أبحاثه إلى اكتشاف أن الكون يتمدد ، وأن هناك العديد من المجرات غير مجرتنا.

(12) أفلاطون (428 ؟ – 347 ق . م) : فيلسوف يونانى تلميذ سقراط من أشهر كتبه الجمهورية.

(13) القديس أوغسطين (354 - 430) لاهوتى وفيلسوف كاثوليكى حاول التوفيق بين الفكر الأفلاطونى والعقيدة المسيحية .

(14) تاليس (640 ؟ – 546 ؟ قبل الميلاد) : فيلسوف يونانى، قال بأن الماء هو أصل الأشياء كلها .

(15) أناكساجوراس (500 ؟ – 428 ؟ ق . م) : فيلسوف يونانى قال بأنه لا يوجد شىء من العدم .

(16) ديموكريتوس (460 ؟ – 370 ق . م) : فيلسوف يونانى قال بأن العالم يتألف من ذرات مختلفة شكلا وحجما ووزنا.

(17) إرنست رذرفورد(1871 - 1937) : فيزيائى بريطانى منح جائزة نوبل فى الكيمياء عام 1908

(18) جسيمات ألفا: يحتوى جسيم ألفا على بروتونين ونيوترونين، تترابط فيما بينها بالقوى النووية ، وجسيمات ألفا موجبة الشحنة وتشابه تماما نواة الهيليوم .

(19) الكوارك : جسيم أولي ، يدخل فى بناء الهادرونات،وشحنته كسر من شحنة الإليكترون ، ويمكن بناء عدد كبير من الهادرونات نظرياً من الكواركات.

(20) جسيم نقيضة : يكاد يوجد لكل جسيم من الجسيمات ، جسيم نقيض ، وقد أمكن إثبات ذلك عملياً لعدد كبير من الجسيمات، عدا الفوتونات .

الفصل الثانى

الفيزياء الحديثة والتمييز السليم

1 - توسيع آفاق العقل :

" العلم ليس إلا التمييز السليم المدرب والمنظم" ، هذا ما كتبه توماس هكسلى [1] الذى يعد من أعظم علماء البيولوجيا فى القرن التاسع عشر. وربما كان هذا القول فى أيام هكسلى صحيحاً ؛ وعلى الرغم من أن علم القرن التاسع عشر قد تضمن سلسلة كبيرة من الموضوعات ، إلا أن جميع مفاهيمه كانت تنبع بقوة من عالم المعايشة اليومية الواقعى .

ومع نهاية القرن حققت الفيزياء نجاحات عديدة ، إذ فهمت الكهربية والمغناطيسية بشكل جيد ، واكتشفت موجات الراديو ، ووضعت النظرية الذرية للمادة على أرضية سليمة. ومع أن هذه الموضوعات قد خرجت بالعلم إلى ما وراء حيز الإدراك الحسى المباشر ، إلا أنها كانت تصاغ كزيادات بسيطة لأفكار وأشياء مألوفة . فقد كان ينظر إلى الذرات على أنها مجرد صور مصغرة من كرات السنوكر **Snooker** (وهى لعبة تضم **15** كرة صغيرة حمراء مع **6** كور أخرى ملونة) ، وكان ينظر إلى المجالات الكهرومغنطيسية على أنها إجهادات فى وسط سريع الزوال يسمى الأثير، فى حين كان ينظر إلى موجات الضوء على أنها اهتزازات الأثير . وهكذا ، ومع كون الذرات من الصغر بحيث لا يمكن تمييزها بصورة فردية ، وكان الأثير الغامض غير مرئيًا أو ملموسًا ، فقد كان من الممكن تصور هذه الكيانات قياسًا على أشياء معروفة. وعلاوة على ذلك ، كان يفترض أن للقوانين التى تحكم هذه التركيبات غير المرئية هى نفس القوانين التى طبقت بنجاح على نظم مادية ملموسة ومألوفة بدرجة أكبر .

بعد ذلك جاءت الفيزياء الحديثة ، بحلول فجر قرن جديد ، حيث تفجرت الأفكار ، وتحطمت الانطباعات العامة المريحة عن الحقيقة ، التى ظلت طوال قرون ، وأبطلت بسرعة العديد من المعتقدات الراسخة والفروض البديهية . وبدا العالم وكأنه مكان غريب ومجهول، وأصبح التمييز السليم **Common sense** مرشداً لا يرتكن عليه .

واضطر الفيزيائيون إلى إعادة بناء نموذجهم عن الحقيقة ، ودمج السمات التى ليس لها نظير مباشر فى التجربة البشرية. وأدخلت التصورات الغريبة والمجردة – التى لا يمكن وصفها عن طريق الرياضيات – حتى تتكيف مع تدفق الاستكشافات الحديثة .

لقد كان عصر فوران شامل ، وتطور مذهل ، وتقدم سريع . أولا، كانت هناك نظرية الكم **quantum theory** [2] ، التى قدمت أفكاراً ثاقبة جديدة عن الأعمال الغريبة للكيانات الصغرى ، ثم كانت هناك نظرية النسبية **theory of relativity** ، التى صهرت المكان والزمن فى بوتقة واحدة . وانهارت نظرة العالم القديمة عن كون متحرك ومنطقى ، تحكمه قوانين العلة والمعلول الصارمة **Cause and Effect** وحلت محلها نظرة أخرى عن عالم خفى ، تسوده المفارقة **Paradox** والسيريالية .

كانت البديهة **Intuition** من أولى ضحايا هذا الفوران الشامل ، فقد كان يمكن لفيزيائيي القرن التاسع عشر إيجاد تصوراً عقلياً لموضوعه المادى ، فى حين تطلبت فيزياء الكم والنسبية رياضة عقلية غير مسبوقة. فقد بدا من الصعب تخيل بعض الظواهر للدرجة التى أعيت الفيزيائيين المتخصصين . وماكس بلانك [3] **Max Planck** ، على سبيل المثال ، الذى وضع نظرية الكم ، لم يقبل أبداً أطوارها الغريبة بشكل كامل ، بينما اعتبرها آينشتاين [4] منافية تماماً للعقل حتى أنه ناصبها العداء حتى آخر أيام حياته .

واستمرت الفيزياء الحديثة تقدم أفكاراً جديدة عن تفاعلات الكون، ووجد كل جيل جديد من الطلاب أن الأفكار التى تتضمنها أفكاراً غريبة أو حتى غير منطقية. واعتادت جامعة إنجليزية معروفة أن تعلق لافتة على مدخل مبنى قسم الفيزياء ، كتب عليها " تحذير: الفيزياء يمكن أن توسع آفاق عقلك **Warning: Physics can Expand " your Mind** ".

خذ ، على سبيل المثال ، عالم جسيمات الكم دون الذرية ، الذى تخاذلت أمامه البديهة تماماً ، وبدا وكأن الطبيعة تخدعنا . إحدى هذه الحيل (الخدع) ، هى خدعة الحاجز **barrier trick** تخيل أنك تقذف حجراً على نافذة ، فإذا قذف الحجر ببطء ، فسيرتد تاركا النافذة سليمة، وأما إذا كان مندفعا بطاقة عالية فإنه سيحطم النافذة وينفذ منها. ويمكن القيام بعمل مشابه فى عالم الذرات ، حيث يقوم جسيم مثل الإليكترون بدور الحجر، والنافذة هى إحدى الحواجز الهشة ، ويمكن أن يأتى ذلك من خلال سلسلة من الذرات أو من جهد كهربائى . وغالبا ما يسلك الإليكترون مسلك الحجر نفسه ، إذ يرتد عندما يقترب ببطء من الحاجز ، وينفذ منه عندما يتوفر له قدراً من الطاقة. بيد أن هذا القانون البسيط أحياناً ما ينتهك بشكل سافر ، حيث يرى الإليكترون وهو يرتد عن الحاجز ، حتى لو توفر له قدر كاف من الطاقة تجعله ينفذ .

والأكثر غرابة ، تلك الحالات التى لا يكون فيها لدى الإليكترون الطاقة الكافية لاختراق الحاجز ، ومع ذلك يظهر بصورة عجيبة فى الجانب الآخر . تخيل أنك تقذف نافذة بحصاة ، ثم تجد أن الحصاة قد اخترقت الزجاج وظهرت فى الجانب الآخر تاركة النافذة سليمة ! . ومع ذلك فهذه الصورة الخداعية هى بالضبط ما تفعله الإليكترونات . وفى واقع الأمر، إنها تشق طريقها عبر حاجز منيع . ويمكن أن تظهر خدعة أخرى إذا اقترب إليكترون من هوة chasm يكون على وشك السقوط فيها ، فقد يحدث أن يعكس عندئذ اتجاهه بصورة مفاجئة ، بمجرد وصوله حافة الهوة. أليس هذا سلوكًا غريبًا بكل المقاييس . وأحيانًا ما يرتد الإليكترون ، وأحيانًا أخرى يسقط فى الهوة .

هذه الظواهر الغريبة تجعل الإليكترون على ما يبدو وكأنه يستشعر الأشياء المحيطة به . فعندما يصل إلى حاجز ، يبدو أنه "ينظر" ورائه ويفكر، " الحاجز فى النهاية رقيق " ، لذا فسأختفى وأتشكل فى الجانب البعيد. وعلى الرغم من أن فكرة أن إلكترونًا يمكنه أن يكون هنا فى لحظة وهناك فى لحظة أخرى من الأفكار الغريبة ، لكن هذا هو ما يحدث بالضبط . ففى واقع الأمر ، تسلك الإليكترونات فى بعض الأحوال كما لو كانت فى أماكن عديدة مختلفة فى نفس اللحظة. ومن المهم أن ندرك أن هذه السلوكيات الغريبة غير المألوفة ليست مجرد تأملات علمية . فالتأثير النفقى tunnel effect – وهو الخاص بالنشاط الإشعاعى – على سبيل المثال ، قد استغل فى بعض الأجهزة الإليكترونية الدقيقة جداً ، مثل الصمام الثنائى النفقى الثرميونى tunnel diode . وفى الواقع ، فحتى التدفق العادى للكهرباء فى سلك من النحاس يتضمن على عنصر من عناصر النشاط الإشعاعى والتأثير النفقى .

ويمكن إرجاع العديد من السلوكيات الشاذة للإليكترونات ، إلى حقيقة أنها تسلك فى بعض الأحوال مسلك الموجات. وفى الواقع ، إنه يمكن تفسير تذبذبات الموجات الإليكترونية من خلال عدد من التجارب المحكمة. وفكرة أن شيئًا يمكن أن يكون موجة Wave وجسيم Particle هو شىء يتحدى الخيال ، غير أن وجود ازدواجية الموجة – الجسيم أمر لا يقبل الشك . ويحدث أيضًا أن ما نعتبره موجه يمكن أن يسرى على صور الجسيم فى عالم الكيانات الصغرى. فموجات الضوء ، على سبيل المثال ، تسلك سلوك تيار من الجسيمات فى طريقة طردها الإليكترونات من أسطح معدنية

(التأثير الكهروضوئى) Photoelectric Effect. وتعرف جسيمات الضوء بالفوتونات[5] Photon ، ويضعها الفيزيائيون فى قائمة الجسيمات الأساسية فى مصاف الإليكترونات والكواركات . ومن المستحيل تخيل موجة - جسيم ، فلا تحاول ذلك ، إذ لا يوجد فى عالمنا اليومى شىء يشابه من قريب أو بعيد هذا الشىء الشاذ . وإذا تصادف أن وجدنا موجة - جسيم فلن نستطيع أن نميزها .

وترجع معظم الصعوبات التى يواجهها الناس فى فهم الفيزياء الحديثة ، إلى أنهم يبذلون محاولات مضنية من أجل استيعاب المفاهيم المجردة التى تقابلهم فى إطار العمل اليومى بالتمييز السليم . ويبدو أن لدى الناس حاجة سيكولوجية عميقة لتبسيط الحقيقة كلها ، إلى صور مفهومة بسهولة وبساطة. وعندما يبرز شئ ما مثل موجة - جسيم لا يكون له نظير فى الحياة اليومية ، هنا يحدث الارتباك أو الشك التام . وقد يشعر طلاب الفيزياء بأنهم لا يستطيعون الفهم بشكل صحيح ، لأنه لا يوجد لديهم تصور عقلى بسيط عما يدرسونه. وغالبًا ما كنت أتلقى رسائل من مثقفين غير متخصصين يقولون فيها أن النظرية الجديدة عن فيزياء الجسيمات قد تأسست بصورة ملفقة على أفكار بديهية. والدافع من وراء ذلك، وفقا للمثقفين ، هو أن الفيزيائيين المتخصصين لا بد وأنهم وضعوها بطريق الخطأ ، إذ أنهم لا يستطيعون فهم الأفكار المتضمنة ، ويصرحون أنه لا يوجد مبدأ عميق للطبيعة يكون دائمًا مجرداً وغير مألوفًا.

والإليكترونات ليست بالجسيمات الوحيدة التى تخضع لنزوة ظواهر الكم ، فخصائصها تشترك فيها كل جسيمات المادة الميكروسكوبية، بما فيها الكواركات . وتحدث التأثيرات المذكورة عند طاقة منخفضة نسبيا. والأكثر غرابة ، هو الظهور المفاجئ لجسيم ببعض التأثيرات عالية الطاقة ، بينما لا يكن موجوداً من قبل ، أو تحلل جسيم غير مستقر إلى مجموعة من الجسيمات الأخرى . وربما توجد جسيمات "مزدوجة الشخصية"، حيث يظهر كيانان منفصلان وقد اندمجا فى تركيب مهجن ذى هوية مزدوجة .

وتعد جسيمات النيوترينو Neutrino من بين الجسيمات دون الذرية الأكثر غرابة ، فمن الأرجح ألا تكون لهذه الأشياء الشبحية كتلة ، وهى تنتقل بسرعة الضوء ، ولا تحمل شحنات كهربية ، ولا يمكن لأية مادة صلبة أن تحجزها . وجسيمات النيوترينو على درجة من الصغر بحيث يمكنها اختراق الأرض بسهولة ، ويمكنها

أن تخترق أيضا رصاصاً صلداً يبلغ سمكه عدة سنوات ضوئية ! وهناك ملايين لا تحصى منها تمر خلال جسمك أثناء قراءتك هذه الكلمات. والنيوترينو لا يكاد يكون شيء لولا خاصية مهمة تسمى اللف **spin**. وأحيانا ما يوصف بأنه يدور بالفعل مثل دوران الأرض حول محورها ، غير أن هذا التشبيه في واقع الأمر غير صحيح ، فلف النيوترينو له بالقطع بعض السمات الغريبة كما سنرى .

والفيزياء الفلكية **Astrophysics** من الموضوعات الأخرى التي تشتت الأفكار الواقعية البديهية. وتقدم موجات الجاذبية **gravity waves** تفسيراً جيداً. فهذه الاضطرابات المحيرة ليست سوى تموجات في الفضاء ذاته، نوع من التواء الفضاء المتحرك **spacewarp travelling** وتتولد هذه التموجات كلما اشتركت الأجسام المادية أو الطاقة في حركة عنيفة. وعلى الرغم من أن موجات الجاذبية تحمل طاقة وكمية دفع **momentum**، فليست بها مادة في حد ذاتها ، فهي مجرد خواء متموج . والأكثر غرابة هو قوة اختراقها الشديدة ، التي ربما قد تفوق قوة النيوترينو سريع الزوال . ولا يوجد شيء في الواقع يمكنه أن يوقف موجات الجاذبية ، الأمر الذي يجعل من الصعب اكتشافها ، ذلك لأنها ما أن تمر على الكاشف حتى تتجاهله .

ومحاولة فهم هذه الانطباعات الغريبة تصيب التصور الذهني بإجهاد شديد ، وسيصبح التقدم المنظم مستحيلا دون الاستعانة بالرياضيات . ولا تحتاج الصيغ المجردة إلى تخيل ، ويمكن أن تصف الظواهر الشديدة الغرابة بوضوح طالما كانت المعادلات المستخدمة متسقة بصورة منطقية . ويعني تغلغل الرياضيات المتقدمة في الفيزياء أن معظم الأبحاث النظرية تؤول إلى متاهة من الرموز غير المفهومة. وتضفي الرياضيات المقترنة بالنكهة الخفية القوية على الفيزياء الحديثة ، إعجاباً شبه ديني ، يلعب فيها الفيزيائيون المتخصصون دور القساوسة العظام. ومما لا شك فيه ، فإن هذا له صلة كبيرة بشعبية الفيزياء الحديثة الحالية بين أناس لهم قوة الإقناع الديني أو الفلسفي. ومع ذلك ، يجب أن نتذكر دائما أن الفيزياء من الموضوعات العملية جدا ، إذ أن معظم التكنولوجيا الحديثة تعتمد على معرفتنا بهذه الأفكار المجردة .

2 - انحناء الفضاء حول الأجسام السماوية :

من بين الصور الغريبة دائمة التغير ، التي تظهرها الفيزياء الحديثة، تلك الصور المتعلقة بنظرية الكم ونظرية النسبية ، التي تثير الاهتمام . ففي أكثر أشكالها تطوراً ،

تعرف نظرية الكم بميكانيكا الكم ، وهى تتعامل أساسًا مع كل الأنشطة على المستوى الميكروسكوبى . وتقدم ميكانيكا الكم الأساس لكل معارفنا عن جميع المجالات الجزيئية والذرية والنووية ودون النووية. وتتعامل نظرية النسبية مع طبيعة الفضاء والزمن والحركة . وتتعاظم أهميتها عندما ينتقل جسيم بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، أو فى مجال جاذبية قوى .

وتهاجم فيزياء الكم والنسبية الفطرة السليمة بالعديد من الطرق ، وأقل مصيبة من مصائبها هى تشويه انطباعاتنا البسيطة عن الهندسة المستوية . ففى الحياة اليومية يعتبر المتر هو متر (مائة سنتيمتر) . وبمجرد أن يتحدد ، فأى وحدة طول معينة تعتبر ثابتة ومطلقة . والقليل من الناس من يفكرون دوما فى احتمال أن ما يعتبر مترًا واحدًا اليوم قد يصبح متران فى الغد ، أو قد يكون المتر بالنسبة لك نصف متر بالنسبة لى ، وعلى الرغم من أن نظرية النسبية لا تتطلب أن لا يكون للمسافات معنى مطلق وثابت ، فربما يمكنها أن تقترح بعض التجارب التى يمكن أن تُختبر فيها هذه التباينات . وتنص نظرية النسبية على أنه إذا كان هناك راصدان (شخصان) يتحركان بحركة نسبية، فسوف يقيسان الشىء ذاته بأطوال مختلفة . وعلى الرغم من أنه فى وضع السكون ، يتفق كلا الراصدان تماما على طول الشىء اللذان يقيسانه .

ويُعرف انكماش المسافات مع السرعة العالية باسم تأثير لورنتز – فيتسجيرالد **Lorentz-Fitzgerald contraction** ، الذى سمى على اسم جورج فتزجيرالد وهندريك لورنتس [6] ، حيث يعتبر نتيجة أساسية من نتائج نظرية النسبية . ولا يكون للتأثير أهمية إلا عندما يقارب سرعة الضوء ، غير أن وجوده لا يحتمل الشك. ويعتبر معجل الجسيمات الطولى **linear particle accelerators** فى جامعة ستانفورد بولاية كاليفورنيا الأمريكية ، أنبوبة مستقيمة طولها حوالى ثلاثة كيلو مترات . ومع ذلك ، فالإليكترونات التى تندفع داخله تنتقل بسرعة الضوء لدرجة أن طول الأنبوبة (التى طولها ثلاثة كيلومترا) لا يعدو أن يكون أكثر من قدم واحد ! . ويجب أن يأخذ المهندسون الذين يصممون المعجلات ويديرونها فى اعتبارهم هذا الانكماش بطرق عملية .

وإذا ما جعلت النسبية " المسافة " distance بلا معنى ، فسوف يتفاقم الموقف سوءاً عندما تؤخذ ميكانيكا الكم فى الاعتبار ، لأنه حتى هذه قد قضت تماما على الفكرة البديهية عن "المكان" .place ويسلم المرء بأن جميع الأشياء المادية يجب أن تكون فى مكان معين . وكل جسيم دون ذرى subatomic ، يشترك فى تكوين ، ولنقل ، جسمك يجب أن يكون له مكان أو موقع محدد . ومع ذلك ، كيف يمكن لجسيم أن يوجد حقا ، إن لم يكن موجوداً فى مكان معين ؟ .

وعندما بدأ الفيزيائيون فى دراسة مفهوم الموقع location على ضوء فيزياء الكم ، وجدوا لصدمتهم العميقة أن الفكرة ، بشكل عام ، بلا معنى. ومصدر كل المتاعب هو وجود قانون أساسى فى ميكانيكا الكم، يعرف بمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج Heisenberg's uncertainty principle ، الذى سمى باسم الفيزيائى الألمانى فيرنر هايزينبيرج ، الذى شارك فى العشرينيات فى وضع أساس ميكانيكا الكم . ووفقا لهذا المبدأ ، يستحيل إعطاء معنى محدد تماما لكل من الموقع والحركة لجسيم فى نفس الوقت . ويمكننا بالقطع مناقشة سرعة جسيم (كمية التحرك) مثل إليكترون ، وإجراء تجربة لقياس هذه الكمية. وسوف تعطى التجربة نتيجة محددة. ويمكن اتباع طريقة مماثلة لتحديد موقع إليكترون إذا ما رغبنا فى ذلك . وكلما بحثنا عن الإليكترون فسوف نجده فى مكان معين. وما لا يمكن عمله – إن لم يكن مستحيلاً من حيث المبدأ – وهو تحديد كل من هاتين الصفتين فى نفس اللحظة. وأيا كانت طريقة القياس ، فإن طريقة البحث ذاتها عن موقع الإليكترون ستطمس بطريقة غير متوقعة على حركته . وبالمثل، فإن قياس حركته سيطمس معرفتنا عن مكانه ، حيث يستحيل إجراء كلا النوعان من القياس فى نفس الوقت .

وحقيقة أننا لا نستطيع معرفة كلا من موقع جسيم وحركته معا فى نفس الوقت ، فلا يجب اعتبارها نتيجة لإجراء التجارب بطريقة غير متقنة ، أو خلل فى دقة الأجهزة ، فهى صفة متأصلة فى طبيعة الأشياء . ففكرة وجود الإليكترون ذاته فى مكان ما هى فكرة بلا معنى ، ومن الأفضل أن نعرف كمية حركته بدلا من ذلك .

ويظهر كل ذلك بلا معنى عند أية محاولة لتصوير العالم الذرى على أنه مأهول بعدد من الكرات التى تندفع فى حركة دورانية . فإن لم يكن للجسيم مكاناً وحركة ، لا يمكننا أن ننسب له مساراً خلال الفضاء بصورة معقولة . فربما نعرف فى إحدى

اللحظــات أن إليكــترونا عند النقطة (A) يكون فى لحظة أخـرى فى النقطة (B) وسوف تختفى فكرة المسار أو المدار الذى يصل بصورة مستمرة بين نقطتى الرحيل والوصول . وفى الواقع ، فقد رأينا كيف تميل الإليكترونات في بعض الأجهزة العملية جدا إلى الولوج عبر الحواجز ، باختفائها من أحد الجوانب ، وظهورها بشكل مفاجئ مرة أخرى فى الجانب الآخر ، وهذا ما يعتبر تأثيراً كمياً مثالياً .

والطريقة الوحيدة لفهم هذا السلوك الغريب ، هو افتراض أنه للوصول مـن (A) إلى (B) يتبع الجسيم كل المسارات الممكنة فى نفس الوقت!. ويمكن تفسير هذه الخاصية الغريبة بسهولة عن طريق إجراء تجربة شهيرة قام بها لأول مرة الفيزيائى الإنجليزى توماس يونج Thomas Young [7] فى القرن التاسع عشر . كان يونج مهتما بتفسير الطبيعة الموجية للضوء ، ولذا استخدم ظاهرة تعرف بالتداخل interference. يحدث التداخل عندما تركب موجتان إحداهما الأخرى ، وإذا انطبقت قمة إحدى الموجتين مع قمة الموجة الأخرى يحدث تقوية للموجتين وتشتد حركة الموجة . ومن ناحية أخرى ، إذا جاءت قمم إحدى الموجتين مع قرارات الموجة الأخرى ، يحدث إلغاء ويقل الاضطراب الموجي .

وفى تجربة يونج (الموضحة فى شكل 3) ، يضىء مصدر ضوئى صغير فتحتين متجاورتين موجودتين على شاشة غير شفافة. وتسقط صور هاتين الفتحتين على شاشة أخرى . وتصل موجات الضوء من كل فتحة إلى شاشة الصورة معا وتتداخلا. وتتوقف النتيجة على ما إذا كانت مجموعتا الموجات تصلان متجانسة الخطوات أم لا . ويتوقف هذا بدوره على الزوايا المستخدمة ، وسوف تختلف من مكان لآخر على الشاشة . والنتيجة، ظهور سلسلة من الحزم الساطعة أو القاتمة كلما اشتدت أو خفتت موجات الضوء .

وعندما تؤخذ طبيعة الضوء الكمية فى الاعتبار ، تظهر معان أخرى غريبة . وكم الضوء ، أو الفوتون يسلك مسلك جسيم لدرجة أنه يصل إلى الشاشة فى مكان محدد. (وإذا استبدلت الشاشة بلوح فوتوجرافى لتسجيل نمط التداخل ، فسوف يغير كل فوتون بطريقة كيميائية حبيبة واحدة من الطبقة الحساسة للوح التصوير فى موقع محدد) . ومن ناحية أخرى، يتوقف نمط التداخل بشكل واضح على وجود كلا الفتحتين لإنتاج مجموعتين من الموجات يمكنهما التراكب overlap وإذا ما أغلقت إحدى

الفتحتين فإن النموذج يختفى . ولا تحدث الحالة التى تعبر فيها بعض الفوتونات إحدى الفتحتين ويعبر البعض الآخر الفتحة الأخرى ، حيث يغطى النموذج بالعديد من البقع ، حتى لو انبعث الضوء فوتونا يلو آخر . والتفسير الوحيد هو أن كل فوتون يمر من كلا الفتحتين ويحمل أثراً من وجودهما عندما يصل إلى شاشة الصورة **screen** ويستخدم هذا الأثر فى توجيه الفوتون فى أغلب الأحوال نحو مساحة حزمية ساطعة (حيث ينتهى معظم الفوتونات) وبعيدا عن مناطق الحزم القاتمة. وبهذه الطريقة ، تتواجد كل من سمات الموجة والجسيم للضوء . وعلى الرغم من إجراء التجربة فى البداية بواسطة الضوء، فإنه يمكن تطبيق أفكار مماثلة إذا ما استخدمت الإليكترونات أو " جسيمات موجية " كمية أخرى .

والاعتقاد بفكرة الجسيم " الموجود فى كل مكان وفى نفس الوقت" من الأفكار التى يصعب تخيلها . فربما يمكن للمرء أن يتصور عدداً لا يحصى من الجسيمات " الشبحية " تستكشف كل المسارات المتاحة ، ولا تظهر فى صورة جسيم حقيقى إلا عند نقطة الرصد ، ومع ذلك فهذا التصور غير كاف. والرياضيات هى الوحيدة التى يمكنها معالجة مظاهر الغموض فى الموضوع .

وعدم القدرة على تحديد موقع جسيم فى مكان محدد ، يؤدى إلى بعض التأثيرات الغريبة عندما يوجد أكثر من جسيم . فإذا توفرت لدينا مجموعة من الجسيمات المتماثلة ، ولم نستطع القول فى أية حالة ما إذا كان الجسيم هنا أو هناك ، فكيف يمكننا تمييز أحدهم عن الآخرين ؟ وفى الواقع ، أننا لا نستطيع. وتصبح السمات الفردية للجسيمات غير واضحة تماماً .

ويؤدى هذا الغموض بالفعل إلى تأثيرات فيزيائية مهمة ، فعندما تتحد ذرتان معا لتكوين جزىء ، يصبح نشاط الإليكترونات حول إحدى الذرات مضطربا بسبب وجود الذرة الأخرى ، التى تحدث قوة تجاذب بين الذرتين . وسوف تتوقف هذه القوة إلى حد ما على عدم إمكانية تمييز إليكترون فى إحدى الذرات عن الإليكترونات الموجودة فى الذرة الأخرى ، وبسبب التشوش فى مواقعهما ، لا يوجد شىء يمنع إلكترونان من أن يتبادلا أماكنهما أحيانا . وبمعنى آخر ، يمكن لإلكترونين فى ذرتين مختلفتين تبادل هويتهما. وتبادل القوى من الأشياء المألوفة تماما فى الكيمياء ، وله نتائج ملموسة .

ويؤدى كل هذا إلى جعل مفهوم المسافة مفهوما غامضاً تماماً ، وما يأتى هو الأسوأ . فعند إمعان النظر، يتضح أنه مثلما يظهر جسيم تشويشا لخلفية الفضاء ، فإن الفضاء ذاته غير واضح . ومن المؤسف أن لا يعرف جسيم مكانه، فإذا كانت الأماكن ذاتها لا تعرف مواقعها ، فلن يكون للهندسة معنى .

ويتعلق مصدر هذه الحيرة بخصائص الجاذبية الغريبة ، فنظرية النسبية التى تتنبأ بأن المسافات يمكن أن تتمدد وتتقلص وفقًا لحركة الراصد ، هى نظرية عممها آينشتاين عام 1915 لتتضمن تأثيرات الجاذبية . ووفقا للنظرية العامة للنسبية ، فالجاذبية ببساطة هى هندسة الفضاء الخاوى والزمن ، لكنها ليست الهندسة التى درسناها فى المدارس. فالجاذبية هى فضاء – زمن ملتوى أو منحنى. والفضاء – زمن لا يتمدد وينكمش فقط ، بل يمكنه أن ينثنى . فهذه الانثناءات بعينها – وفقا لنظرية آينشتاين – هى التى تفسر الجاذبية .

أشار آينشتاين إلى أنه يمكن رصد فضاء منحنى وزمن منحنى فى بعض من الحالات . إحدى هذه الحالات تأثير جاذبية الشمس على الفضاء المحيط بها. فخلال الكسوف الكلى ، عندما يخبو وهج الشمس ، يمكن تبين إزاحة طفيفة لضوء النجوم القريبة من الشمس ، عند مرورها بالقرب من سطح الشمس فى طريقها إلينا . إذ ينحنى ضوء النجوم بشكل واضح ، نتيجة لانحناء الفضاء حول الشمس (انظر شكل 4) .

وهناك اختبارات أخرى لنجوم النيوترون الأكثر قوة ، مما أقنع الفيزيائيون بأن الجاذبية تحنى الفضاء بالفعل . وإحدى النتائج هى أن الفضاء (وبالتحديد الفضاء – الزمن) يجب اعتباره مرنا وقادرا على تغيير شكله الهندسى. بمعنى آخر ، يمكننا أن نتوقع نشاطاً للفضاء . وعلى سبيل المثال ، عندما ينهار نجم ليشكل ثقبًا أسود black hole [8]، تتزايد حدة انحناء الفضاء بجواره بسرعة ليصبح معتقلاً فضائياً منثنياً بشكل غريب لا يهرب منه أى شىء . والمثال الآخر هو الكون المتمدد الذى ناقشناه فى الفصل الأول ، حيث يتمدد الفضاء بين المجرات بصورة منتظمة .

فإن أمكن للفضاء أن يتغير وأن يتحرك فستكون لفيزياء الكم آثار عميقة . فكما أن مبدأ عدم اليقين لهايزنبيرج يجعل حركة الجسيمات غير واضحة ، فإنه كذلك سيجعل حركة الفضاء غير واضحة. ويوحى النموذج الرياضى بأنه عند حجم أصغر ،

على الأقل 20^{-10} من حـجم نواة ذرية ، يصـبح الفـضــاء "رغـوى" Foamy البنيـة ، ويصـاحـبه نمو تلقائى عنيف واضـحـلال فى التكور. وبنفس الطريقة التى يسـتكشف فيها جسيم كل مسارات الحركة المتاحة له ، يستكشف الفضاء كذلك على المستوى فوق الميكروسكوبى كل حركاته المتاحـة. وفى حـالة الجسـيم ، كـانت إحدى الطـرق للنظـر إلى هذا من خـلال جيش من الجسيمات " الشبحية " ، يتبع كل منها مسـارا مـختلفا. ويمكننا التحـدث هنا عن عـدد لا نهائى من الفضـاءات " الشـبحـيـة " المتـواجـدة مـعـا ، ويمثل كل فضـاء شبحى تجسيد لبعض الأشكال الهندسية المعينة .

هذا النشـاط الغـامض للفضاء يدل بـصورة ضمنية على تصـور أن " المكان " ذاته ينهار عند المسـافات غاية فى الصـغـر. ويختفى الترتيب المنتظم للنقاط ، والاسـتمرارية السلسـة للفـضـاء نو الـهندسـة الكلاسيكية فى رغـوة المكان – الزمـن . وبدلا من ذلك ، ينشأ لدينا اختلاط صـاخب melee من الفضـاءات الشبحية شبه الموجودة بغير نظام . وفى هذا البحر المضطرب المتغير، تتبدد تماما الفكرة البديهية عن المكان .

3 - خاصية اللف للجسيمات :

إذا لم تعـد الأمـاكن مـحـددة بشكل واضـح فـى حـقـل الكم ، فـلا غـرابة أن تتـأثر الزوايا بالمثل . وفى الحيـاة اليـومية ، نعـتبـر مـن الأمور المسلم بها أن للأشـيـاء اتجـاه مـعـين . فـالفــازة تثبــت على وضـع عمــودى فـوق المائــدة ، وتشـيـر إبـرة البوصلــة نحو الشمـال ، ويمسـح ضـوء الكشـاف السماء. ويعد مفهوم الاتجاه من الأمـور المهمـة فى فهمنا للعالم من حولنا ، وبدونه لا نستطيع فهم الحقيقة الخارجية .

ومع ذلك ، ففـى عـالم الكم ، على مـسـتوى الذرات ومكوناتها ، لم يعـد من الممكن التعـامل مع الاتجـاه direction والتوجيه orientation ببسـاطة. فالإليكترون الذى يدور حول نواة لا يمكنه أن ينجذب فى أى لحظة مـعينة ليقع فى اتجاه مـعين من النـواة ، لأن وضعه غير واضح. ولا يمكن استخدام حزمة من الفوتونات أو الجسيمات الأخرى كمـحـدد للاتجـاه ، لأن الجسيمات لا تتبع مـسارات مـحددة ، فهى تهيم على وجـهـها بصورة مضطربة .

وعلى الرغم من هذا ، يبـدو أن هنـاك مـرشـحـاً واحـداً واعـداً يمكنـه أن يعطـى تعـريـفـاً واضـحـاً للاتجـاه. فقد نكر أن لجسيمات النيوترينو نوع من الدوران الداخلى أو "اللف" .Spin وفى الواقع ، فإن اللف خاصية تتسم بها كل الجسيمـات دون الذرية تقريبـا ، وخـاصـة الإليكتـرونات والكواركـات. ويسـتـهوينا تصـور جـسيم كـهـذا، أى ،

الإليكترون ، على أنه كرة صغيرة تدور حول محورها كنسخة مصغرة من الأرض الدوارة . ومن الواضح أنه لفهم فكرة كهذه ، يجب أن يشير محور اللف إلى أحد الاتجاهات. وإذا أمكن تحديد هذا الاتجاه بالقياس ، فسوف يتوافر لنا وسيلة لتحديد الاتجاه بطريقة واضحة ، حتى على المستوى الكمى . ويمكن إجراء مثل هذا القياس ، لكننا سنواجه بشىء غاية فى الغرابة .

افترض أن القائم بالتجربة أعد جهازه ، واختار فى البداية اتجاهًا مرجعيًا معينًا يقيس عليه توجيه لف الجسيم . ومن الناحية العملية ، يمكن أن يتحدد هذا الاتجاه المرجعى بواسطة مجال كهربائى أو مغناطيسى. ويرغب القائم بالتجربة فى معرفة الزاوية التى يصنعها لف محور axis الجسيم مع خط المجال – الكهربائى أو المغناطيسى . ويقوم بإجراء القياس ، ويجد لدهشته أن اللف قد أشار بالضبط إلى اتجاه المجال. وتتكرر التجربة مرات عديدة ، وتكون النتيجة ثابتة دائما . يشير اللف دائما نحو الاتجاه المرجعى المختار . ويشك القائم بالتجربة فى أن هناك شكل من أشكال التآمر ، ويقوم بضبط زاوية جهازه ، غير أن لف الجسيم يحذو حذوه دائما . وعندما يحاول القائم بالتجربة جعل اللف يشير نحو زاوية مائلة على الاتجاه المرجعى ، فلا يصل إلى شىء . ويبدو القائم بالتجربة حائر الذهن من حقيقة أن الجسيم يتصرف وكأنه يقرأ أفكاره ، لأنه يختار دائما الاتجاه الذى اختاره القائم بالتجربة بمحض إرادته مرجعا له .

وبخيبة أمل ، يعثر القائم بالتجربة على خدعة غريبة ، سوف ينشئ اتجاهين مرجعيين مختلفين (A) و (B) ويقيس زاوية اللف بالنسبة لكليهما . وبما أن لف الجسيم لا يمكن أن يشير إلى اتجاهين فى نفس الوقت ، فسوف يظهر أحد القياسات على الأقل اللف عند زاوية متوسطة. والمضى على هذا الفرض يقوم القائم بالتجربة بأولى قياساته . ولم يعد مندهشا من أن يجد اللف يشير إلى اتجاه (A) ويقوم بالقياس التالى بسرعة قبل أن يتمكن أى شىء من جعل اللف يعيد توجيه نفسه. ولما كان قد تم اختيار الاتجاه (B) ليقع على زاوية 25 درجة بالنسبة للاتجاه (A) فمن الطبيعى أن القائم بالتجربة الذى تأكد رياضياً أن اللف يشير إلى المحور (A) يتوقع أن يجد اللف يشير بزاوية ٢٥ درجة على المحور(B) ولشدة ذعره ، يجد أن الطبيعة

قد تغلبت عليه بالمداورة والمخادعة. فبطريقة ما يغير الجسيم اتجاهه فجأة ، وبشكل عجيب يعيد توجيه لفه لينطبق بدقة على المحور(B) ويعيد القائم بالتجربة قياس الزاوية بالنسبة للمحور (A) ويرى أن اللف قد عاد إلى زاويته الأصلية !

وتعتبر تأثيرات كهذه حالياً جزءاً من فيزياء راسخة ، وقد اتفق الفيزيائيون منذ زمن على أن لف جسيم سيظهر دائماً مشيراً إلى المحور الذى اتخذه القائم بالتجربة مرجعا له. وهى خاصية تهدم تماماً أية محاولة لتمييز مفهوم الاتجاه فى مجال الكم ، وتدخل أيضاً عنصراً ذاتيًا أو شعوريًا **subjective** غريبا إلى العالم المادى . وإذا كان مصير لف الجسيم أن يتبع للأبد الاختيار العشوائى للقائم بالتجربة للاتجاه المرجعى، فسوف تقحم الإرادة الحرة للقائم بالتجربة نفسها بطريقة ما فى العالم المصغر. وانعدام الحرص الذليل الذى يجبر كل الجسيمات الدوارة لأن تتبع اختيار القائم بالتجربة للزاوية، هى من إيحاءات العقل وسيطرته على المادة. وسوف نرى فى الفصل الثالث أن هذه العناصر الذاتية لفيزياء الكم، تتطلب إعادة التقييم الكامل للمفهوم التقليدى عن الحقيقة ، ولدور الوعى **Consciousness** فى الكون المادى .

ويتضمن موضوع لف الجسيم على العديد من المفاجئات الأخرى. إحدى هذه المفاجئات هى فكرة الدوران **Rotation** البسيطة ظاهريا وحتى الطفيفة. فقد اعتدنا فى الحياة اليومية على القيام بالالتفاف حول أنفسنا . تخيل أنك تقف فى حجرة وتواجه ، ولنقل باباً ، فعندما تبدأ بالالتفاف ، فإنك تواجه سمات مختلفة من الحجرة ، حتى أنك بعد الدوران بزاوية **180** درجة تجد ظهرك مواجها للباب. وعندما تدور **180** درجة أخرى تجد نفسك فى النهاية وقد رجعت إلى توجيهك الأول، مواجها الباب بعد دورة واحدة كاملة أى **360** درجة. ويبدو العالم من حولك واضحاً ، كما لو أنك لم تقم بالدوران. ماذا عسى أن يكون أبسط وأكثر وضوحا من ذلك ؟

ومع ذلك ، يعطى التأثير الأولى للدوران نتيجة مذهلة ، عندما يتعلق الأمر بالجسيمات دون الذرية. فإذا مر إليكترون بمجال مغناطيسى مرتب بطريقة خاصة ، فيمكن أن يميل محور دورانه على نحو تدريجى . وفى النهاية ، يلف المحور دورة كاملة **360** درجة. ومن الطبيعى أن نتوقع بناءً على الفطرة السليمة أن الإليكترون قد عاد الآن إلى شكله الأصلى . ولكن الأمر ليس كذلك ، إذا قورنت خصائص الإليكترون الدوار بخصائص إليكترون لم يحدث له اضطراب ، حيث أنها ستختلف بشكل ملفت للانتباه.

ولإعادة الإليكترون الدوار إلى ما كان عليه من قبل ، لابد من لف محوره 360 درجة أخرى ، أى إجراء دورتين كاملتين بالتمام . وبعد ذلك لا يوجد اختلاف ملحوظ بين الإليكترون الدوار والإليكترون غير الدوار.

ماذا يعنى هذا ؟ من الواضح أنه فى الحالة الأولية أن دورانا قدره 720 درجة يكون مطلوبا لإحداث دورة كاملة ، أى ، لإعادة العالم إلى شكله الأصلى بالنسبة للإليكترون. وجسيم أولى مثل إليكترون يدرك الامتداد الكامل لـ 720 درجة . ولا توجد هذه الوسيلة فى البشر والأشياء الكبرى الأخرى ، ولا نستطيع أن نميز دورة 360 درجة واحدة من التالية لها. وبشكل ما ، إذن ، لا ندرك إلا نصف العالم الذى يدركه الإليكترون .

ويصور شكل (5) تشبيهاً بسيطاً ، يوضح خرزة تدخل فى حلقة من سلك مزدوج. ومن بعد ، لا يمكننا تمييز الحلقتين ، ويبدو السلك وكأنه دائرة واحدة. فإذا انزلقت الخرزة 360 درجة ، فسوف نفترض أنها عادت إلى نقطة البداية . ومع ذلك ، فإذا أمعنا النظر ، لن يكون الأمر كذلك . يجب أن تنزلق حبة العقد 360 درجة أخرى حتى تكمل دورة كاملة حول الحلقة وتعود بشكل صحيح إلى وضعها الأصلى .

وتعتبر وجهة النظر ذات "الصورة المزدوجة" **Double- image** الغريبة لعالم الإليكترونات وجسيمات الكم الأخرى ، خاصية أساسية من خصائص الطبيعة ، وتؤدى إلى العديد من التأثيرات الملحوظة غير المتوقعة. وعلى سبيل المثال ، فالمجال المغناطيسى الناشئ عن لف الإليكترون يكون ضعف القيمة التى تنتج من لف كرة مشحونة بشحنة كهربائية . وسوف نرى فى الفصول الأخيرة ، كيف تبرهن طبيعة اللف الهندسية الغريبة على أنها المدخل لفيزياء موحدة .

4 - عندما يتمدد الزمن :

إذا أفسدت الفيزياء الحديثة بصيرتنا الهندسية، فإنها تفسد كذلك فكرتنا البسيطة عن الزمن . فالبديهة تجعلنا نعتبر الزمن – شىء كونى ومطلق ، تنسب إليه كل الأحداث. لا يوجد تمييز بين زمانى وزمانك ، لا يوجد إلا زمن واحد. ولكن نظرية النسبية لا تسمح بهذه الحالة العقلية البسيطة. فكما يمكن للفضاء أن يتمدد أو ينكمش وفقا لحركة الراصد ، فيمكن كذلك للزمن أن يتمدد ويتقلص أيضا . ويمكن لشخص أن يعتبر حدثين تفصل بينهما ساعة زمن واحدة، بينما يعتبر شخص آخر هذه المدة وكأنها دقيقة واحدة .

ليس هذا مجرد تأثير سيكولوجي ، فالزمن يمكنه أن يتمدد ، أو "يلتوى" ، حقيقة حتى فى المعامل ، ويمكن استخدام أدوات قياس زمن بالغة الدقة لتسجيل التواءات الزمن timewarp ولقياس التواء الزمن، ما عليك إلا أن تحرك أداة قياس الزمن بسرعة عالية جدا تقارب سرعة الضوء . وينتقل الضوء بسرعة 300,000 كيلومترا فى الثانية ، والتى تعد أكبر سرعة فى الكون المنظور . وعلى الرغم من ذلك ، فتلك هى دقة أدوات قياس الزمن الذرية الحديثة ، التى يمكن بواسطتها تمييز التواءات زمنية دقيقة حتى على ظهر طائرة نفاثة .

ويمكن رصد التواءات زمنية مذهلة بواسطة جسيمات دون ذرية ، والتى لشدة ضعفها يمكن أن تتسارع بسرعة تقترب من سرعة الضوء ذاته. وفى تجربة حديثة أجريت فى المركز الأوربى للأبحاث النووية (CERN) ، على سبيل المثال ، كان من الممكن تعزيز جسيمات تسمى ميونات muons [9] بسرعة تقترب من سرعة الضوء لدرجة أن مقياسها الزمنى يتمدد بما يزيد على عشرين مرة. والميونات مناسبة لهذا الغرض ، لأنها غير مستقرة وتتحلل إلى إليكترونات وجسيمات أخرى بعد جزء ضئيل من الثانية . وتقوم بهذا بمعدل نصف عمر ثابت ، يمدها بمقياس زمن داخلى . وفى إطار إسناد الميونات ، يحدث الانحلال فى المتوسط بعد حوالى جزءين من المليون من الثانية ، ولكن فى إطار المعمل يكون متوسط العمر ممتداً بدرجة هائلة .

ويعد تمدد الزمن بواسطة الحركة أحد التأثيرات التى يحبها الفيزيائيون حتى الكراهية. ويبدو أنها تؤذى إدراكهم أكثر من أى غرابة أخرى فى الفيزياء الحديثة . ومن المحتمل أن ترجع نصف الأبحاث التى تتلقاها المجلات العلمية المتخصصة إلى موضوع الزمن والنسبية ، وتسعى لإيجاد خطأ فى أفكار آينشتاين أو بعض التناقضات فى النظرية . فهى لا تستطيع أن توافق على أن الزمن مرن ويمكنه أن يتمدد أو ينكمش بالنسبة لراصدين آخرين . وتظهر عبقرية خاصة فى محاولة النيل من "تأثير التوأم" Twins Effect الشهير ، والذى يقوم فيه أحد التوأم برحلة داخل صاروخ عالى السرعة، ويعود ليجد عمر أخيه أكبر منه بعشر سنوات. هذه الظاهرة التى يعتبرها الفيزيائيون فضولا ممتعا يمكن أن تحدث نفوراً عميقا لدى الآخرين . وربما يكون سبب ذلك هو أن الزمن تجربة ذاتية ، ويعتبر بعض الناس محاولة إجراء تغييرات طفيفة على الزمن بغية إظهاره بصورة أفضل اعتداءً على شخصياتهم ذاتها . ولكن سواء أحبوه أم لا ، فالتواءات الزمن أمر واقع .

حدثت واحدة من أكبر إلتواءات الزمن التى قام بها الإنسان Daresbury Laboratory in Cheshire فى آلة بمعمل داريسبرى فى شيشاير بإنجلترا . ويسمى الجهاز المستخدم السينكروترون الإليكتروني [10] electron synchrotron ، وهو مصمم لإسراع حزمة من الإليكترونات حول دائرة قطرها ثلاثون مترا ، بسرعة ثلاثة ملايين مرة فى الثانية. وتعمل مغناطيسيات كبيرة على إحناء الإليكترونات عن مسار حركتها المستقيم ، ومع كل انحراف يحدث انبثاق لإشعاع كهرومغناطيسى ، يسمى بالإشعاع السينكروترونى [11] . وتندفع الإليكترونات بسرعة واحد من عشرة آلاف فى المائة من سرعة الضوء ، وهى من الضآلة لدرجة أن مقياسها الزمنى يصبح خارج الاعتبار مع مقياسنا الزمنى . واستغل المهندسون هذا التباين، فقد كان بالفعل الفكرة الأساسية فى بناء الآلة فى المقام الأول . وعلى الرغم من أن تردد الإشعاع الصادر لا يزيد عن بضع كيلوهرتز (تردد الموجات الراديوية تقريبا) فى إطار إسناد الإليكترونات ، فإن التواء الزمن يقوى هذا التردد بالآلاف فى إطار المعمل. والإشعاع الصادر يمكن إدراكه بالفعل فى منطقة طيف الأشعة السينية x- Ray أو فوق البنفسجية . وعلى ذلك يستخدم التواء الزمن لتوليد كميات هائلة من الإشعاع ذو الطول الموجى القصير فى نطاق من الترددات . وسهولة كهذه تعتبر نادرة ، ولها بعض التطبيقات العملية . وقد أصبح التواء الزمن الخفى ، سلعة تجارية .

وفى الواقع ، يتساوى تمدد الزمن مع انكماش المسافة ، وتلزمنا نظرية النسبية الربط بين المكان والزمن معا فى مكان – زمن موحد – و تتزايد كلا التأثيرات الالتوائية دون حد كلما اقتربنا من سرعة الضوء. ولهذا السبب ، فمن المستحيل كسر حاجز الضوء والسفر بسرعة فوق ضوئية ، لأننا لو قمنا بذلك فسوف "ينقلب" المكان – الزمن ، إذ ينحنى المكان إلى زمن ، وينحنى الزمن إلى مكان ، وتسافر الأشياء إلى الماضى. وعلى ذلك ينظر إلى سرعة الضوء بأنها أقصى سرعة فى الكون بالنسبة لانتشار الأشياء المادية أو التأثيرات .

ويمكن أن تحدث الجاذبية أيضا التواءات فى الزمن . فالزمن ينساب بصورة أسرع عند قمة مبنى عنه فى بدروم ، ولكن تأثيره صغير جدا بحيث لا يلاحظه إنسان ، وتستطيع أدوات قياس الزمن النووية أن تكتشف التواء الزمن حتى من فوق مبنى مرتفع . فقد وضعت أدوات قياس الزمن أيضًا على متن طائرة تطير

بسرعة أو على صواريخ لاختبار تأثير الجانبية على الزمن . وليس هناك من شك فى أن التواءات الزمن حقيقية ، فالزمن يجرى بصورة أسرع فى الفضاء عما يجرى على الأرض .

وجاذبية الأرض تعتبر بسيطة بالمقاييس الفلكية ، ومن المعروف أن الأجرام السماوية تلوى الزمن بدرجة كبيرة . فعلى سطح نجم نيوترونى neutron star ، على سبيل المثال ، تزن ملئ ملعقة من المادة النيوترونية أكبر من كل قارات الأرض. ويمكن أن تكون الجاذبية من القوة بحيث تبطئ الزمن إلى حوالى نصف المعدل الذى يجرى به على الأرض. وإذا ارتفعت الجاذبية كثيرا إلى مستوى أكبر من جاذبية النجم النيوترونى ، فسوف ينتج حينئذ ثقباً أسود. وفى هذه الحالة، ينفجر النجم إلى الداخل تماما implode ويغلف نفسه بالتواء زمنى لا حد له ، أشبه بمعتقل فضائى منحنى . وبتعبير غير دقيق ، يظل الزمن على سطح ثقب أسود ساكنا تماما بالنسبة لمقياسنا الزمنى .

وحقيقة أن الزمن ليس ثابتاً أو كونياً – لكنه مرن وقابل للانحناء – تهدم العديد من المعتقدات البديهية . فإذا استطاع زمنى أن يسبق زمانك ، بسبب حركاتنا المختلفة أو أوضاع الجاذبية ، فلا يعقل بشكل عام أن نتحدث عن " الزمن " ، أو " الآن " . فالانطباع عن وجود " اللحظة " ، ولنقل على سطح المريخ ، انطباعٌ غامضٌ تمامًا ، بمجرد أن يتذكر المرء إمكانية الراصدين المتحركين بسرعة كبيرة . وبالمثل ، السؤال " عما يكون الزمن على نجم نيوترونى؟ "، يعتبر سؤالا لا معنى له . فالزمن نسبى تماما. ففى إطار إسنادنا ، يجرى الزمن بمعدل منتظم. فمهما تحركنا أو تغيرت معايشتنا للجاذبية فسوف يبدو طبيعيا بالنسبة لنا. بيد أن التأثيرات الغريبة تظهر عندما نقارن الأزمنة بين نظامين مختلفين. حينئذ سنجد أن كل إطار إسناد له مقياسه الزمنى الخاص به ، ولا يتفق هذا المقياس عادة مع كل شخص آخر .

5 - تغيير المفاهيم القديمة :

تشيع التأثيرات الغريبة لفيزياء الكم والنسبية عن أفكارنا التقليدية عن المكان والزمن ، فى العالم الغموض والذاتية ، وتناقض حالتها السوية اليومية . والحالة الطبيعية هى نتيجة لنطاق المعايشة المحدودة جدا التى اعتدنا عليها . فلم نعهد فى حياتنا اليومية السفر بسرعات كبيرة نوعا ، حتى يمكننا ملاحظة التواءات المكان

والتـواءات الزمن ، ومـعظمـنا لـم ينقب عن غـمـوض أو غرابة عـالم الذرة. ومع ذلك ، فعالم خبرتنا المنطقى والمنتظم بالفطرة شىء مصطنع . فورائه يوجد عالم متناقض ومظلم من وجود مبهم ووجهات نظر متغيرة .

والسريالية الغامضة التى تعرضها الفيزياء الحديثة حادة تعتبر بصفة خاصة ، عندما يتعلق الأمر بالمادة. فالاعتماد الراسخ ، ولنقل، على " صخور " يطمئننا على الوجود المادى للأشياء فى العالم الخارجى. ومع ذلك ، فهنا مرة أخرى يقوض الفحص الدقيق انطباعاتنا البديهية ، وتظهر لنا مادة الصخر تحت الميكروسكوب كتلة متشابكة من البلورات المتـداخلة. ويمكن لميكروسكوب إليكتـرونى أن يكشف الذرات الفـردية المتباعدة فى مصفوفة منتظمة ، توجد بينها فراغات كبيرة. وعندما نسبر غور الذرات نفسها ، نجد أنها تكاد تكون تقريبا فضاءً فارغاً تماما . ولا تشغل النـواة الدقيقـة إلا حوالى **1** من ترليون من حجم الذرة " 10^{-12} ". وتغلف بقية الذرة سحابة متفرقة من إليكترونات سريعة الزوال . وحتى النواة ، عند الفحص الدقيق، تبدو حزمة نابضة من الجسيمات سريعة الزوال .

وليس هناك من يشكك فى العنصر الخفى القوى الذى تقوم عليه معظم الفيزياء الحديثة ، فقد محيت تماما الفكرة القديمة عن الكون بأنه آلية منتظمة على طول مسار سبق تحديده. ووجد بديلا عنها مجموعة من التصورات ، يعكس كل منها أحد أوجه الخبرة البديهية، لكنها فشلت فى الارتباط معا بشـكل منتظـم . هل الإليكترون موجة أم جسيم ؟ فكلا الشكلين يبعثان فى الذهن صورة عقلية واضحة ، لكننـا لا نسـتطيع أن ننسبها لأى كيان بذاته، وتكون الإجابة " كلاهما ". ولا يمكننا أن نتصور بسهولة فكرة فضاء يتكور أو يتمدد. فالفضاء مصحوب بخواء ، والخواء الملتوى هو معضلة عقلية لا يدركها إلا قلة من الناس .

والاستشهاد الخفى بالفيزياء الحديثة قد جعلها محبوبة لدى العديد من رجال صرفوا ذهنهم إلى الدين أو الفلسفة . إذ أنهم رأوا فى الاكتشافات التى تحدث حاليا تحرراً من العالم المادى الموضوعى الذى كونته التكنولوجيا . وتفتح التواءات الزمن وغموض الكم، إمكانيات رحبة للاعتقاد بأن فى العالم أكثر مما تراه العين. ومن اللافت للنظر على وجه الخصوص تلك النكهة الجامعة القوية للفيزياء الحديثة. وتنشأ معظم خيبة الأمل الأخيرة فى العلوم من رد فعل حول التبسيط العلمى التقليدى ، حيث يتحلل العالم بغير اكتراث إلى أبسط عناصره .

وفكرة أن كل شيء يمكن فهمه من خلال إرجاعه إلى أجزائه المكونة كان لها تأثير قوى على التفكير العلمى لقرون عديدة. فقد أدرك نيوتن أنه يمكن فهم تعقدات الحركة ، بالنظر إلى أجسام صغيرة وبسيطة ، تتفاعل مع قوى أحدثتها أجسام صغيرة بسيطة أخرى. وعلى الرغم من أن سلوك ورقة ساقطة قد يبدو سلوكا معقدا بصورة مدهشة ، فإن حركات الجسيمات الفردية ينبغى لها من حيث المبدأ أن تتوافق مع المبادئ الرياضية البسيطة .

وقد جاءت ذروة الاختزالية Reductionism بالعبارة الشهيرة التى قالها بيير لا بلاس :Pierre Laplace

"إن الشخص الذكى الذى يعلم – فى أى لحظة زمنية – جميع القوى المؤثرة فى الطبيعة والمواقع اللحظية لكل الأشياء التى يتكون منها الكون ، سيصبح قادرا على استيعاب حركات الأجسام الكبرى فى العالم ، وحركات أصغر الذرات فى صيغة واحدة . شريطة أن يكون من القوة بحيث يخضع كل المعلومات للتحليل ؛ وفيها لن يكون هناك شئ غير معلوم، فكل من المستقبل والماضى سيكون ماثلا أمام أعيننا " .

وعلى ذلك ، فإذا ما عرف شخص المواقع والحركات الدقيقة لجميع جسيمات المادة فى الكون ، فيمكنه أن يحدد إذن من حيث المبدأ السلوك الكلى لكل شيء فى الماضى والمستقبل. وفكرة أن كل السلوكيات موضوعة بهذه الطريقة الجامدة ، يبطل فكرة الإرادة الحرة ، ويستحضر إلى الذهن صورة كون غبى عقيم. ولا يزال الأمر يشكل إزعاجاً عندما يؤخذ فى الاعتبار الكائنات الحية، فمحاولة إرجاع جميع الأشياء الحية إلى لا شيء ، سوى تلال من الذرات المتحركة تتطور طبقاً للصدفة العمياء ، يوجد أكثر من أى شيء آخر انطباعاً عن العلم بأنه محاولة مجردة من الصفات الإنسانية وعديمة الحيوية أو النشاط .

وتقف الفيزياء الحديثة ضد هذه الخلفية الاختزالية التقليدية فى تباين مطلق. وأنكرت نظرية الكم مبدأ الحتمية العلمية Determinism لبيير لابلاس ، أنه يمكن فهم العالم من خلال عناصره فقط . وفى الفصل القادم سوف نرى كيف أن جسيمين ، حتى لو ابتعدا ظاهريا مسافة كبيرة ، فإنهما يرتبطان رغما عن ذلك بنمط سلوك متماسك . وبشكل عام ، عندما يجرى أى نوع من القياس أو الرصد فى فيزياء الكم ،

فلا يمكن تفسير حقيقة الجسيم دون الذرى بفصله عن البيئة الذى يسكنها . فلقد رأينا ، فى تجربة " الشقين " لتوماس يونج ، كيف يتوقف سلوك جسيم فى صغر الإليكترون على ما إذا كان متاحاً له شق أو شقان أثناء مروره بالشاشة . وبطريقة غامضة يستشف الإليكترون المعلومات من بنية شاسعة نسبيا من حوله ، ويستجيب تبعا لها. وبالمثل، فإن الاتجاه الذى يشير إليه لف الجسيم لا يمكن فصله عن طريقة القياس التى يتخذها القائم بالتجربة . ومن الواضح فإن العوالم المرئية والميكروسكوبية تتداخل مع بعضها بصورة وثيقة . وليس هناك من أمل فى تكوين فهم كامل عن المادة من الجسيمات المكونة بمفردها. فالنظام فقط ككل يعطى انطباعاً حقيقياً عن الحقيقة الميكروسكوبية . فالصغير والكبير يتواجدان معا . لا يستطيع شخص أن يفهم الآخر بشكل إجمالى ، ولا يستطيع الآخر أن يفسر الأول بشكل مجمل .

كان العقل Mind ، هو أحد الضحايا الكبيرة للعلم الاختزالى ، فعند محاولة اختزال كل النظم إلى أنشطة عناصر بسيطة ، توصل بعض العلماء إلى الاعتقاد بأن العقل ما هو إلا نشاط المخ Brain ، الذى يعتبر نمط من النبضات الكهروكيميائية ، والذى بدوره لا يعدو إلا أن يكون شيئا سوى حركة إليكترونات وأيونات . وتختزل هذه الفلسفة الغارقة فى المادية عالم الفكر الإنسانى ومشاعره وأحاسيسه ، إلى واجهة Facade تخفى الحقيقة .

وفى المقابل ، تعيد الفيزياء الحديثة للعقل وضعه الرئيسى فى الطبيعة. فنظرية الكم تصبح عديمة إن لم تشرك الراصد – الذى يقوم بتجربة – بأى وجه من الوجوه . وإجراء الرصد فى فيزياء الكم، ليس مجرد سمة طارئة ، أو وسيلة لإيصال معلومات موجودة من قبل فى العالم الخارجى . فالراصد يدخل الحقيقة دون الذرية بطريقة أساسية ، وتبين معادلات فيزياء الكم بصورة واضحة إجراء عمليات الرصد وتشرحها فى رموز اصطلاحية . ويحدث الراصد تحولا واضحا للمعلومات فى الموقف الفيزيائى . عندما ينظر شخص إلى ذرة ، عندئذ تقفز الذرة بطريقة مميزة ، لا يمكن لتفاعل عادى أن يجاريها . وربما تكون الفطرة السليمة قد انهارت أمام الفيزياء الحديثة ، غير أن الكون الذى يكشف عن حقائقه من خلال هذه التطورات ، قد أوجد مرة أخرى مكانا للإنسان فى النهج العظيم للأشياء .

الهوامش

(1) توماس هنرى هكسلى (1825 - 1895) : بيولوجى إنجليزى ، كان من أشد المتحمسين لنظرية داروين .

(2) نظـرية الكم : نظرية تفترض أن انتقال الطاقة بين الإشعاع والمادة ، يتم فى كمات منفصلة،تتوقف قيمتها على تردد الإشعاع.

(3) ماكس بلانك (1858 - 1947) : فيزيائى ألمانى وضع نظرية الكم .

(4) ألبرت أينشتاين (1879 - 1955) : فيزيائى أمريكى . ألمانى المولد صاحب نظرية النسبية . منح جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1921 .

(5) الفوتونات (ج . فوتون) : كم الإشعاع الكهرمغناطيسى ، وليس للفوتون شحنة أو كتلة ، وينطلق بسرعة الضوء . وتتناسب طاقة الفوتون مع تردد الأشعة الكهرمغناطيسية تناسبا طرديا .

(6) هندريك لورنتس (1853 - 1928) : فيزيائى هولندى ، منح جائزة نوبل فى الفيزياء بالمشاركة لعام 1902 .

(7) توماس يونج (1773 – 1839) : فيزيائى وطبيب بريطانى . عنى بدراسة الآثار المصرية .

(8) ثقب أسود : جسم سماوى له مجال جاذبية شديد جدا للدرجة التى تمنع خروج أى جسيم ، أو حتى فوتون ضوئى من هذا الثقب .

(9) ميون : جسيم أولى من نوع اللبتونات ، يمكن أن يكون سالبا أو موجبا وكتلته تصل إلى ضعف 307 كتلة الإليكترون . وهو جسيم غير مستقر .

(10)– سينكروترون إلكترونى : مسرع للإلكترونات ، يستخدم مجالا كهربائيا مترددا، ثابت التردد ، لتسريع الإليكترونات مع ازدياد شدة المجال المغناطيسى الحارف ليوائم طاقات الإليكترونات .

(11) إشعاع سينكروترونى : الإشعاع الناتج عن تسارع الإليكترونات فى السينكروترون ، ويطلق المصطلح على بعض الإشعاعات الكونية الناتجة عن حركة الإليكترونات فى مجالات مغناطيسية عالية الشدة .

الفصل الثالث

الحقيقة ونظرية الكم

1 - متاهة من المفارقات العلمية :

فى صيف عام ١٩٨٢ ، أجريت تجربة تاريخية فى جامعة باريس ، فقد فكر الفيزيائى الفرنسى آلان أسبكت **Alan Aspect** وزملائه الباحثون أن فى إمكانهم خداع الكم ، فلم يكن موضوع البحث أكثر نظريات العلم نجاحا فحسب ، بل الأساس ذاته فيما نعتقد بأنه " الحقيقة " **Reality** .

ومثل العديد من الاختبارات الهامة فى الفيزياء ، كانت التجربة الباريسية متأثرة بشدة بمفارقة **Paradox** ، تلك التى حيرت وخدعت العلماء والفلاسفة على السواء قرابة خمسين عامًا. ويتعلق الموضوع بالسمة الأساسية فى فيزياء الكم **quantum physics** ، ألا وهى مبدأ عدم اليقين **Uncertainty Principle** ويبدو أن هذا المبدأ الشهير هايزينبرج ، قد قضى نهائيا على أى تصور بديهى بسيط ، عن العالم الذرى الذى تتحرك فيه الجسيمات ، فى مسارات محددة تماما تحت تأثير القوى. فجسيم كالإليكترون يتحرك فى مسار ملتو بطريقة عشوائية ، يستحيل تتبع حركته ، أو حتى وصفه بطريقة مفهومة بشيء من التفصيل .

وقبل مجيء نظرية الكم ، كان ينظر إلى الكون المادى على أنه أشبه ما يكون بآلة ضخمة منتظمة كالساعة ، لقوانين يخضع سلوكها بكل تفاصيله لقانون منطقى منيع طبقًا لقوانين الحركة لنيوتن ، وتبعاً لسبب والنتيجة ، وبالطبع ، لا تزال قوانين نيوتن سارية على معظم الظواهر اليومية ، فهى توجه القذيفة إلى هدفها ، وتراقب الكواكب فى مداراتها بمنتهى الدقة . لكننا نعرف الآن أن الأشياء على مستوى ذرى مختلفة تماما. فقد حل التمرد وعدم النظام **chaos** محل السلوك المنتظم والمألوف للأجسام المرئية ، وما كنا نعتبره أجساماً صلبة ، ظهر أنه نمط طيفى لطاقة متذبذبة ، وتؤكد لا يقينية الكم على أنك لا تستطيع معرفة كل شيء عن جسيم طوال الوقت . فإذا حاولت أن تستخلص من جسيم كل التفاصيل (إذا جاز لنا ذلك) فسيفلت من قبضة يدك .

وقد ثبت أن هذه الخاصية الدقيقة لجسيمات الكم ، تشكل مصدر قلق كبير للفيزيائيين المشاركين فى تطوير النظرية ، ففى العشرينيات ، بدت نظرية ميكانيكا الكم الحديثة وكأنها تيه من المفارقات .maze of paradox وعلى الرغم من أن ڤيرنر هايزينبيرج Werner Heisenberg وإرڤين شرودينجر Erwin Schrodinger كانا المخططان للفكرة الرئيسية للنظرية ، فقد وقع تفسير النظرية على عاتق ماكس بورن Max Born ، وبخاصة على نيلز بور .Niels Bohr ونيلز بور ، فيزيائى دانيمركى ، كان أول شخص يدرك أن نظرية الكم تطبق على المادة وعلى الإشعاع كذلك ، وفى السنوات الأخيرة ، أصبح المرجع الأساسى والمتحدث الرسمى للمجتمع العلمى عن الأسس الفكرية لميكانيكا الكم ، وأصبح معهده فى كوبنهاجن مركز أبحاث الفيزياء الكمية طوال عدة عقود. وقال ذات مرة إلى زملائه:" إن لم يشعر الإنسان بالدوار عندما يدرس الكم لأول مرة ... فهو لم يفهم كلمة واحدة ." وفى كتابه الفيزياء والفلسفة Physics and Philosophy ، ردد هايزينبيرج هواجسه الأولى عن معنى ميكانيكا الكم الحديثة :

" إننى أذكر المناقشات مع بور ، التى دامت ساعات حتى وقت متأخر من الليل ، ولم تصل فى النهاية إلى شىء يذكر . وفى نهاية المناقشة عندما ذهبت لأسرى عن نفسى فى الحديقة المجاورة ، أعدت إلى نفسى مرارا وتكرارا السؤال: أيحتمل أن تكون الطبيعة من العبث كما تبدو لنا فى هذه التجارب الذرية ؟ " .

كان آينشتاين Einstein أشد العلماء سخطا ، فعلى الرغم من اشتراكه تطرية الكم فى صياغة ، إلا أنه لم يشعر بارتياح أبدا ، معتقدا أنها إما أن تكون خطأ ، أو تعبر فى أفضل الأحوال عن نصف الحقيقة ، ومن أشهر عباراته " إن الله سبحانه " عندما خلق الكون ، أقام قوانين واضحة محكمة ، ليس فيها مجال للدعابة أو العبث". فقد أكد على أن وراء الفوضى والغموض فى عالم الكم الخفى، يكمن عالم كلاسيكى مألوف من الحقيقة الواقعية ، يكون فيه للأشياء خصائص محددة: مثل الموقع والسرعة ، والتى تتحرك وفقا لقوانين السبب والنتيجة الحتمية. وأعلن آينشتاين أن اختلال عالم الكم ليس اختلالا أساسيا ، إنه مظهر مصطنع. فعند مستويات أعمق من الوصف ، تسود سلامة الحكم على الأمور .

حاول آينشتاين أن يجد هذا المستوى الأعمق من خلال جدل متواصل مع بور، الذى يعتبر من أقوى مفسرى " نهج سياسة المجتمع العلمى " ، الذى أكد على أن غموض الكم شيء متأصل فى الطبيعة ولا يمكن الخلاص منه. وشن آينشتاين العديد من الهجمات التخيلية على لا يقينية الكم ، محاولا ابتكار تجارب افتراضية – تجارب فكرية thought experiments ، كما تعرف بذلك – قصد منها الكشف عن وجود خطأ منطقى فى وجهة نظر رسمية. وكان من عادة بور مرارا وتكرارا القيام بهجوم مضاد ليفند دعاوى آينشتاين .

وفى إحدى المناسبات الشهيرة ، فى مؤتمر تجمع فيه رواد الفيزياء فى أوربا ليستمعوا إلى آخر تطورات نظرية الكم ، التى كانت جديدة فى ذلك الحين ، وجه آنيستاين هجومه على صور أخرى من مبدأ اللا يقينية ، الذى يعالج إمكانية تحديد طاقة جسيم بدقة فى لحظة حصوله على هذه الطاقة. وقد استنبط بشكل خاص مخططا عبقريا للتحايل على لا يقينية الطاقة – الزمن ، وكان أساس فكرته قياس الطاقة بدقة بواسطة وزنها weight وتعين معادلة آينشتاين الشهيرة $E=MC^2$ نسبة الكتلة ، (M) ، لكمية الطاقة (E) ويمكن قياس الطاقة بواسطة وزنها .

كان بور فى هذا الوقت مضطربا بشكل واضح ، وقال عنه شهود العيان أنه اصطحب آينشتاين إلى فندق المؤتمر وهو فى حالة مزاجية سيئة. وبعد ليلة لم يذق فيها طعم النوم ، حلل بور حجج آينشتاين بشكل مفصل ، وأعلن انتصاره أمام المؤتمر المجتمع فى اليوم التالى ، وفى استعراض لحجته على لا يقينية الكم الموجود لدى آينشتاين ، تغاضى بطريقة تهكمية أحد أوجه نظريته عن النسبية ، فهذه النظرية تستلزم أن يلتوى الزمن بواسطة الجاذبية ، فكما أن الجاذبية لا بد أن توجد لإجراء قياس للوزن ، فلا يمكن تجاهل تأثير الالتواء ، وأوضح بور أنه عندما يؤخذ هذا التأثير فى الاعتبار بالمعنى الصحيح ، تعود اللايقينية إلى نفس المستوى كما هو الحال دائما .

2 - عندما كان آينشتاين على خطأ :

لم تظهر تجارب آينشتاين الفكرية الأكثر ثباتاً إلى السطح حتى عام 1935 ، عندما نشر مع زملائه بوريس بودولسكى Boris Podolsky وناتان روزن Nathan Rosen بحثا مهما فى المجلة الفيزيائية الألمانية The Physical Review ، التى لا تزال

حتى اليـوم ، الصياغة الأكثر إقناعا لطبيعة فيزياء الكم المتناقضة. وما تناولته تجربة "أينشتاين – بودولسكي – روزن " في الأساس ، مشكلة ما إذا كان لجسيم موقع position وكمية تحرك Momentum في نفس الوقت. وكان التحدى الذى واجه أينشتاين وزملائه هو ابتكار منهج يظهر فيه أن كلاً من هذه الكميات يمكن قياسها على الأقل من حيث المبدأ ، بأى درجة مقبولة من الدقة .

وقد أصبح من المقبول فى ذلك الحين ، أن أية محاولة مباشرة لتحديد كلاً من الموقع وكمية تحرك جسيم سيكون مآلها الفشل. والسبب فى ذلك بسيط ، فعندما تبدأ فى تحديد المكان ، فيشوش تأثير القياس ذاته على كمية التحرك بطريقة غير محدودة ، ويلغى قياس كمية التحرك أية معلومات سابقة عن المكان ، فكل نوع من القياس لا يتوافق مع القياس الآخر ، ويمحى نتيجة الآخر ، فلو كان سيكتب النجاح لآينشتاين فى إيجاد طريقة لتحديد كلا الخاصتين فى نفس الوقت ، فكان عليه أن يستخدم طريقة أكثر دقة .

وبإيجاز شديد ، كان ما توصل إليه " أينشتاين وبودولسكى وروزن" ما يلى : بفرض أنك لا تستطيع أن تحدد كلا من مكان وكمية تحرك جسيم بشكل مباشر فى نفس الوقت ، فإن ما تحتاج إليه هو جسيم ثان شريك ، وبواسطة الجسيمان ، يمكن قياس كميات أخرى فى نفس الوقت. وإذا أمكن ربط حركة الجسيمين مقدما بطريقة ما، فسوف تمكن القياسات حينئذ التى تجرى آنيا على كلا الجسيمين تحت التجربة من إلقاء نظرة سريعة تحت ستار لا يقينية الكم ، والذى أصر بور أنه لا يمكن نبذها أو التخلى عنها .

والمبدأ المستخدم معروف تماما ، ففى لعبة السنوكر أو البلياردو ، فعندما تصطدم كرة البلياردو مع كرة أخرى ، تتحرك الكرتان إلى اتجاهات مختلفة ، ومع ذلك فحركتهما ليست عشوائية ، فقوانين الفعل ورد الفعل تسيرها بدقة ، فإذا قست كمية تحرك إحدى الكرات يمكنك استنتاج كمية تحرك الكرة الأخرى (التى ربما تكون حينئذ بعيدة تماما) دون أن ترصدها مباشرة . والآن نطبق أيضا قانون الفعل ورد الفعل على جسيمات الكم. وكل ما يجب أن يقوم به شخص ، حنئذ فى الأساس هو أن يجعل الجسيمين الكميين 1و2 مرتبطان معا ومتفاعلان ، وأن يبتعدا لمسافة بعيدة . وعند هذه النقطة يمكن قياس كمية تحرك الجسيم 1. ومن قوانين الفعل ورد الفعل ،

يمكن استنتاج كمية تحرك الجسيم 2 وهو الجسيم الذى يهمنا. ومن المؤكد أن القياسات سوف تجعل موقع الجسيم 1 غير مؤكداً ، لكن ذلك لا يهمنا. فلا يمكن أن تؤثر على مكان الجسيم 2 – ذلك الوضع الذى نرغب فى إيجاده- لأن الجسيم 2 بعيد جداً ، وقد يكون من حيث المبدأ مبتعدا عدة سنوات ضوئية. وإذا قاس شخص فى نفس الوقت موقع الجسيم 1 بشكل مباشر ، فسيعر فموقع كلا من حنئيذ وكمية تحرك الجسيم 2 فى نفس اللحظة. ونكون قد نجحنا فى التغلب على مبدأ اللايقينية بالمداورة! حيث سبق معرفة كمية التحرك من قياس الجسيم الأول .

وتأسست حجة " أينشتاين – بودولسكى – روزن " على فرضين أساسيين . الأول ، لا يمكن أن يؤثر قياس يجرى فى أحد الأماكن بصورة لحظية على جسيم موجود فى موقع آخر بعيد . وأساس هذا الاعتقاد هو ، إن التفاعلات بين النظامين تميل إلى الاضمحلال كلما بعدت المسافة ، ومن الصعب أن نتخيل إليكترونين على مسافة عدة أمتار ، فما بالك بتأثير مكان وحركة أحدهما على آخر ، يبعد عنه عدة سنوات ضوئية بصورة فعلية ، ورفض أينشتاين هذه الفكرة ، وأسماها " التأثير الشبحى عن بعد " ghostly action at a distance .

كان السبب المهم لهذا الرفض هو اعتقاد أينشتاين بأنه لا توجد إشارة أو تأثير يمكن أن ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وتلك هى النتيجة الأساسية لنظرية النسبية ، ولا يمكن التخلى عنها بسهولة. ومن بين أشياء أخرى ، فإن غياب التأثير الأسرع من الضوء، يعتبر عنصرا أساسيا فى ترسيخ تعريف عام للماضى والمستقبل خلال الكون ، فكسر حاجز الضوء light barrier يشبه التأثير العكسى للزمن، وهو إمكانية متخمة بالمفارقة .

وكان الفرض الأساسى الثانى الذى افترضه أينشتاين وزملائه هو "الحقيقة الموضوعية" objective reality. فقد افترضوا أن خاصية كالمكان أو كمية تحرك جسيم توجد بشكل موضوعى ، حتى لو كان الجسيم فى مكان بعيد ، ولم ترصد هذه الخاصية المتضمنة بشكل مباشر. وهذا هو اختلاف وجهة نظر أينشتاين عن بور. فوفقا لبور ، لا يمكن ببساطة أن تنسب صفات مثل المكان وكمية التحرك لجسيم إلا إذا قمت بإجراء رصد فعلى له . فالقياس عن طريق الغير لن يفى بهذا الغرض ، واستخدام جسيم آخر شريك يعتبر أسلوب مضلل .

وعند هذه المرحلة يمكن لكلا من بور وآينشتاين الإصرار على مواقفهما الدفاعية.
وكان المطلوب هو نمط آخر من التجارب الفكرية تمكن من إجراء اختبار مباشر ، للنظر فيما إذا كان مبدأ اللا يقينية سينهك أم لا فى تجربة عملية ، وفى الستينيات ، اكتشف جون بيل John Bell من مركز الأبحاث النووية الأوروبية سيرن (CERN) طريقة للقيام بذلك. فقد أخذ كلا الفرضان لآينشتاين وبوبولسكى وروزن –بعدم وجود تأثير أكبر من سرعة الضوء ، ووجود الحقيقة الموضوعية – واستخدامهما فى استنتاج علاقات أكثر شمولا على قياسات الجسيم 1 ، وقياسات الجسيم 2 ، ليس المكان وكمية التحرك فقط ، بل خصائص أخرى مثل اتجاه اللف. وقد وجد أنه يمكن إجراء بعض أنواع القياسات التى تفصل بين مواقف آينشتاين ومواقف بور. أى أن الفرضين السابقين يمكن أن يؤديا إلى بعض تنبؤات تجريبية ، والتى لن تنجح إلا إذا كانت ميكانيكا الكم صحيحة وفقا لبور، من خلال لا يقينيتها المتأصلة ، فلو أجريت حينئذ تجربة حقيقية ، فيمكن أن يتم اختبار مباشر للا يقينية الكم .

ولقد وضع " بيل " الاختلاف الأساسى بين النظريتين المتنافستين فى صورة تعبير رياضي، يعرف باسم " تفاوت بيل " Bell,s ineauality والوضع ببساطة هو أنه لو كان آينشتاين محقا ، فسوف تظل معادلة عدم التساوى لبيل فى حاجة إلى نتائج تجارب حقيقية. ولو كان بور محقا، فسوف التفاوت أو اللاتساوى . وتصبح الكرة الآن فى ملعب القائم بالتجربة .

3 - انهيار الحقيقة البسيطة :

لم يكن من المستطاع إجراء اختبار عملى على مبدأ عدم التساوى لجون بيل فى الستينيات ، إذ كانت المشكلة الرئيسية دقة التكنولوجيا المتاحة آنذاك. وللتأكد من أن جسيمين منفصلين لا يتصلان بالطريقة التقليدية ، فمن الضرورى إجراء عمليات على كلا الجسيمين خلال فترة زمنية قصيرة ، بحيث لا تكون من الطول كى تسمح لأية إشارات تنتقل بسرعة الضوء (أو أقل) أن تمر بينهما. وبالنسبة للجسيمات المتباعدة التى تبعد عن بعضها بعدة أقدام ، فإن ذلك يعنى أن العمليات المعنية يجب ألا تأخذ وقتاً أطول من أجزاء من ألف مليون من الثانية.

وخلال السبعينيات أجرت بعض المجموعات العلمية سلسلة من التجارب على مشكلة الجسيمين ومن أنواع عديدة منها ، على الرغم من أن أحداً منها لم يحقق الدقة

المطلوبة التى تجعل النتائج صحيحة . وفى النهاية أدخل آلان أسبكت فى باريس بعض التحسينات، وبدأ فى عام 1981 ، سلسلة من التجارب على اثنين من جسيمات الفوتون ، بزاوية استقطاب معينة ، ويتحركان بصورة متقابلة ، وينبعثان من ذرة واحدة. وتمخض البرنامج عن تجربة أجريت فى صيف عام 1982 ، بدت أنها حسمت الموضوع للمرة الأولى. فقد كانت النتائج واضحة لا تقبل الشك . لقد كان آينشتاين على خطأ ، فلا يمكن إهمال لا يقينية الكم ، فهى حقيقية ، ولا يمكن تجاهلها. والحقيقة البسيطة – حقيقة الجسيمين اللذين لهما خصائص محددة فى غياب الرصد – لا يمكن إقرارها. فقد وضع " أسكبت " آخر مسمار فى نعش فيزياء التمييز السليم أو الواقعية.

وللطريقة التى تكشف بها التجربة أوجه الاختلاف بين نظرية الكم وأية نظرية "واقعية " بديلة ، بعض الأهمية. لقد كان هدف القائمون على التجارب ، إظهار مدى ارتباط نتائج القياسات على أحد الفوتونات ، بالارتباط المتبادل مع الفوتون الآخر. وطبقاً لمعادلة عدم التساوى لبيل ، فإن النظريات " الواقعية " Realistic ، تتنبأ بنوع من الارتباط. بينما تتنبأ ميكانيكا الكم فى المقابل بدرجة أكبر من الارتباط، كما لو كان الجسيمان يتعاونان بالتخاطر عن بعد Telepathy بإحدى الطرق غير الطبيعية . وأظهرت التجارب درجة ارتباط زيادة عن الحد الأقصى الذى تسمح به لا متساوية بل ، ونتيجة لذلك أكدت على مبدأ عدم اليقين لفيزياء الكم .

ويمكن تشبيه الموقف بشخصين يقفان ظهرا لظهر ويلقيان بالعملة فى نفس الوقت. فإذا كان إلقاء العملة بصورة عشوائية تماما فلن تكون هناك علاقات ارتباط متوقعة بين العملتين ، حيث يتساوى ظهور وجه فى إحدى العملتين مع وجه أو ظهر العملة الأخرى ، ومع ذلك ، افترض أن إلقاء العملة لم يكن عشوائيا تماما ، بحيث كان ظهور الأوجه فى إحدى العملتين أكثر احتمالا للتوافق مع العملة الأخرى ، وسوف تظهر الملاحظة علاقة ارتباط محددة إيجابية بين نتائج العملتين ، وفى تجارب الجسيمين ، لا تكون أنشطة الجسيمان عشوائية بصورة مستقلة ، لأن كلا الجسيمان لهما أصل مشترك. ونتيجة لذلك يكون هناك شىء من الارتباط المتوقع ، ويظهر الاختبار الحاسم درجة الارتباط الدقيقة Correlation .

من النظرة الأولى ، قد يبدو كما لو أن تجربة " آسكبت " حققت نوعاً من الإشارات ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وفى طريقة إلقاء العملة ، إذا كان

من المحتمل أن يظهر وجه عملتى مع وجه عملتك، فيبدو أنه يمكننى أن أرسل لك رسالة على الرغم من أنك لا ترى عملتى ، وذلك عن طريق اتباع شفرة بسيطة ، حيث يمكن تمثيل الوجه بنقطة ، والظهر بشرطة . فإذا كان الارتباط أقل من 100 ٪ ، فستكون الرسالة "مليئة بالضجة"، لكنها يمكن أن تنتقل فى النهاية بدقة مع قدر من التكرار.

ومع ذلك ، يظهر تفكير آخر أن هذه الإمكانية مجرد وهم وخداع. فنتيجة قذفات عملتى ، على رغم ارتباطها بقذفات عملتك ، لا تزال رغما عن ذلك غير متوقعة تماما ، حيث لا يمكننى مقدما جعل عملتى تظهر أوجهاً أو ظهوراً حسب الطلب. فإن جاءت ظهوراً فإننى أعرف أن من المحتمل أن تظهر عملتك أوجهاً أيضا ، غير أن هذا ليس بذى أهمية بالنسبة لى ، فليس لى أى تحكم على توالى النقاط والشرط المرسلة ، وتتحول الرسالة إلى مجرد ضوضاء صاخبة .

4 - الطبيعة الغريبة لحقيقة الكم :

بعد عدة شهور من نشر نتائج تجربة " آسكبت " ، كان لى الفضل فى إعداد برنامج وثائقى لإذاعة B.B.C البريطانية حول مفارقات مفهوم فيزياء الكم. وكان من المشاركين " أسكبت" نفسه ، وجون بيل ، وديفيد بوم ، وجون ويلر ، وجون تايلور ، والسير رودلف بيرلس. وقد سألتهم جميعا ماذا صنعوا بنتائج بيل ، وما إذا كانوا ظنوا أن الحقيقة الواقعية قد ماتت الآن. وقد كان تنوع الإجابات مدهشا .

ولم يبد أى من المشاركين شيئا من الدهشة ، فقد كانت ثقتهم قوية بوجهة النظر الرسمية لنظرية الكم كما أوضحها بور منذ فترة طويلة، لدرجة أنهم شعروا بأن تجربة " أسكبت " لم تعط سوى تأكيد (وإن كان تأكيد مستحب لشىء مؤكد بالفعل . ومن ناحية أخرى ، لم يكن البعض مستعد لترك الأمر على ما هو عليه . فقد ظل اعتقادهم بالحقيقة الواقعية – الحقيقة الموضوعية التى فكر فيها أينشتاين – اعتقادا لا يساوره شك. وقد جادلوا بأن الشىء الذى يجب التخلص منه ، هو افتراض أن الإشارات لا يمكن أن تنتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، إذ يجب أن يكون هناك بعض التأثير " الشبحى " عن بعد رغم كل شىء .

وماذا عن مفارقات الإشارات الزمنية ؟ ، حسنا، ربما يكون شيئًا منع تلك الإشارات المرسلة من أن ترسل بطريقة محكمة ؟ وقد ترك الموضوع مبهما .

وعلى الرغم من أنه لم يبدو أن كل الفيزيائيين قد اتفقوا على نبذ الحقيقة البسيطة ، فقد ظل موقف بور هو وجهة النظر الرسمية، فقد دعمته نتائج " أسكبت " . وإذا تم تبنى هذا الموقف فسوف يكون له بعض النتائج العميقة على طبيعة العالم المادى .

أولا : تكشف مشكلة الجسيمين التى شرحناها من قبل ، عن حقيقة وجود جسيم "موجود هناك" ، يرتبط بصورة غامضة بحقيقة الجسيم "الموجود هنا". والافتراض المبسط لكون الجسيمان قد ابتعدا عن بعضهما لمسافة كبيرة ، اعتبارهما كيانان فيزيائيان منفصلان ومستقلان ، هو افتراض خاطئ تماما ، فإن لم تجر قياسات مستقلة على كلا الجسيمين ، فسوف يظلان جزءا من كل موحد ، وما نعنيه بالحقيقة لا يتحدد إلا من خلال نظام تجريبى كلى ، يمكنه أن يمتد على نطاق كبير. وعلاوة على ذلك ، فعلى الرغم من أن مثل هذا النظام من الجسمين يقام بطريقة محكمة فى تجربة "أسكبت" ، المبنية على فكرة أن الكل أكبر من مجموع أجزائه Holistic ، فإن الجسيمين طوال الوقت يتفاعلان بصورة مستمرة وينفصلان نتيجة لنشاطهما الطبيعى والسمة غير المحلية Non-local Aspect فى نظم الكم هى خاصية عامة للطبيعة ، وليست مجرد فلته تم صنعها فى المعمل .

وقد أكد بعض الناس على أن فيزياء الكم تتضمن على عالم لا توجد فيه الجسيمات الفردية للمادة ، ككيانات أولية بصورة حقيقية من تلقاء نفسها. وبدلا من ذلك يمكن فإن الجسيمات التى يمكن أن تتصف بوضع " الحقيقة " هى مجموعة من كل الجسيمات التى لا تتعامل إلا ككل ، بما فيها الجسيمات التى صنع منها جهاز القياس .

ووجهة النظر التقليدية المبنية على فيزياء نيوتن الكلاسيكية مختلفة تماما. فوفقا لفلسفة نيوتن ، تتكون المادة من جسيمات ، غير أن الجسيمات ينظر إليها على أنها وحدات بناء يمكن أن تتجمع فى وحدات أكبر. وهذه الفكرة مقنعة ، لأننا يمكننا أن نرى بسهولة آلاف من هذه الجسيمات الأولية ، مثل الكرات الصلبة المحتشدة مع بعضها لتصنع شيئا مألوفا كالصخر ، ويمكن عزو كل الخصائص الموجودة فى الصخر بالتالى إلى الذرات ، أو أى كانت وحدة بناء الأساسية المتعارف عليها ، فالصخر تكون من جسيمات أولية ، والجسيمات ما هى إلا أجزاء من الصخر ، ولا شىء أكثر

من ذلك . وقد وصف الفيزيائى النمساوى أوتو فريش Otto Frisch ، الذى اشترك فى تفسير تجارب أوتوهان، وأوتو شتراسمان على الانشطار النووى عام nuclear fission عام 1938 ، هذا المفهوم الكلاسيكى لفيزياء نيوتن بما يلى :-

"إنها تتخذ الجانب الذى يشير إلى وجود عالم خارجى يتكون من جسيمات لها موقع وحجم وصلابة وغيرها . وإن كان هناك بعض الشك فى أن تكون لها لون ورائحة؛ فلا تزال تعتبر جسيمات أصلية توجد هناك سواء رصدناها أم لا. "

وربما يمكننا اعتبار هذه الفلسفة الكلاسيكية " واقعية ساذجة " naïve realism

وفى فيزياء الكم، فإن هذه العلاقة الكلاسيكية البسيطة بين الكل وأجزائه غير كافية بالمرة. فعامل الكم يجعلنا لا ندرك الجسيمات إلا فى علاقة مع الكل. وفى هذا الخصوص ، من الخطأ اعتبار الجسيمات الأولية للمادة بأنها أشياء تتجمع بشكل جماعى لتشكل أشياء أكبر. وبدلا من ذلك ، يمكن وصف العالم بشكل أدق بأنه شبكة من العلاقات .

وبالنسبة للواقعى البسيط ، يعتبر الكون مجموعة من الأشياء، وبالنسبة لفيزيائى الكم ، يعتبر الكون شبكة من أنماط طاقة متذبذبة لا يكون فيها لعنصر واحد حقيقة بصورة مستقلة عن الكل ، ويتضمن "الكل" الشخص الذى يقوم بعملية الرصد.

وقد عبر الفيزيائى الأمريكى هارولد ستاب Harold Stapp عن مفهوم الكم عن الجسيم بالكلمات التالية :

"إن الجسيم الأولى ليس كياناً قائماً بصورة مستقلة ولا ، لا يمكن تحليله، أنه فى الأساس مجموعة من العلاقات التى تصل العالم الظاهرى بالأشياء الأخرى ."

وقد يتذكر المرء كلمات ويليام بليك William Blake : " لكى ترى العالم فى حبة رمل ... يجب أن تتصور كل المادة والطاقة فى كل مكان يضمها وجود موحد ."

وتتعلق نتيجة أخرى من نتائج فيزياء الكم بدور الراصد: الشخص الذى يقوم بإجراء القياسات ، فغموض لا يقين الكم لا ينشأ بسبب علميات الملاحظة التى نقوم بها ، فإنه فى بعض مراحل سلسلة نظام الكم ، بما فيها الأجهزة المستخدمة فى التجارب من عدادات وغيرها ، بل وأعضاء حسنا وإدراكنا ووعينا كل ذلك يمكن

أن يؤدى إلى الغموض ، فقوانين فيزياء الكم واضحة تماما فى هذا الخصوص ، ففى غياب الملاحظة ينشأ نظام الكم بطريقة معينة ، وعندما تجرى عمليات (الملاحظة) ، يحدث نوع مختلف تماما من التغيير ، هذا السلوك المختلف غير واضح تماما ، بينما يصر بعض الفيزيائيين على أن هذا بسببه تأثير عقل أو وعى الملاحظة نفسه .

وعند هذه الفكرة الغامضة ، نترك مشكلات ومفارقات فيزياء الكم. فأيا كان الجدل الذى احتدم على أسسها الفكرية ، فلا يوجد خلاف على أن نظرية الكم فى تطبيقاتها ، تعمل بصورة تدعو للإعجاب . وعلى وجه الخصوص ، فإنها الأساس لكل تفسيرنا لعالم فيزياء الجسيم ، ذلك العالم الذى تختفى ورائه القوة العظمى .

الفصل الرابع

التماثل والجمال فى تكوين الطبيعة

1 - الرياضيات كلغة للطبيعة :

عندما أحاضر طلاب السنة الأولى بالجامعة عن " مفاهيم الفيزياء الحديثة " ، فدائما ما أخبرهم بأن الفيزياء جميلة ، لأنها توصف بهذه القوانين الرياضية البسيطة ، وعادة ما تحدث الملاحظة ضحكات ساخرة. والسبب فى ذلك ، بالطبع ، أنه بالنسبة لطالب يبذل أقصى جهده لفهم مقررات رياضية جامعية ، تبدو معادلات الفيزياء معقدة وغامضة بصورة مخيفة ، والشىء الذى لا يعرفونه بعد حق المعرفة ، هو أن الرياضيات ، من بين أشياء أخرى ، لغة ، وعندما تدرس هذه اللغة ، يمكن أن تلخص أشياء فى غاية التعقيد بصورة رائعة فى صورة معادلة رياضية خطية واحدة .

وفى هذا المقام ، تختلف الرياضيات قليلا عن اللغات الفنية الأخرى (على الرغم من أنها أكثر قوة وشمولا إلى حد كبير) ، تخيل أنك ، على سبيل المثال ، تحاول تفسير مشروع استثمارى لشخص بلغة إنجليزية عادية ، دون أن تستطيع استخدام كلمات رأس المال ، أو الفائدة ، أو التضخم. أو تخيل أنك تصف تشغيل موتور سيارة دون أن تذكر شيئا عن الأسطوانات أو عمود الكرنك أو الحشو أو منظم الوقود .

وأى شخص ينصت لمناقشة بين اثنين من الرياضيين فى أى وقت ، يستنتج أنهما يتحدثان بالشفرة Code، وهما كذلك فعلا إلى حد ما. ومثل كل الشفرات ، بمجرد أن يتم معرفة مفتاح الشفرة تصبح المعلومات المعقدة بسيطة فى الحال. وإذا فسرت رسالة مشفرة، فسيتم التعرف عليها بأنها نسق منظم من المعلومات ،غير أن محتوى المعلومات الفعلى سيختفى بين خليط من رموز عديمة المعنى. والصيغة الرياضية أشبه ما تكون بشفرة لها مدخلات ومخرجات. خذ على سبيل المثال، صيغة N2 ، حيث N أى عدد طبيعى 1 , 2 , 3 , 4.. فإذا أدخلنا على التوالى قيم لـ N سنحصل على 1, 4 , 9 , 16،... وفى هذه الحالة، لن يكون من الصعب فك الشفرة ، ويمكن لمعظم الناس إجراء الحساب بطريقة عكسية من الإجابة 1 , 4 , 9 , 16... ليستنتجوا الصيغة N2 ، والمدخلات 1 , 2 , 3 , 4 .. ولكن إذا جعلنا الصيغة معقدة بعض الشىء ،

فسيصبح فهم الشفرة أمرا محبطا للهمة. ونترك للقارئ إيجاد صيغة للتسلسل 2 , 4 , 6 , 9 , 12 , 17 , 20 , 25 , 28 , 31 , 34

ربما يكون أعظم اكتشاف علمى على مر العصور ، هو أن الطبيعة Nature مكتوبة بمجموعة قوانين رياضية. ونحن لا نعرف السبب فى هذا ، لكنها إحدى الحقائق البالغة الأهمية ، التى تمكننا من فهم، وضبط ، وتوقع نتيجة العمليات الفيزيائية. فبمجرد فهم شفرة نظام فيزيائى معين ، يمكننا أن نقرأ الطبيعة كما لو كنا مثل كتاب .

ولم ينكشف للبشرية أن قوانين الطبيعة على مستوى أساسى كتبت بمجموعة قوانين رياضية إلا بصورة بطيئة . فقد استنتج الفلكيون القدامى علاقات بسيطة تحكم حركة الشمس، والقمر، والنجوم ، وتساعد على التنبؤ بكسوف الشمس وخسوف القمر . واكتشف فيثاغورث Pythagoras أن النغمة الموسيقية لوتر مهتز ترتبط بطوله بعلاقة عددية محددة . ومع ذلك ، لم تجر أول محاولة منتظمة للكشف عن شفرة الطبيعة الرياضية إلا فى العصور الوسطى. ففى القرن الرابع عشر ، استنتج طلاب جامعة أكسفورد Oxford الحقيقة المهمة بأن المسافة الرأسية التى يقطعها جسم ساقط من السكون، تتناسب مع مربع الزمن المقطوع . غير أن القبول العام لهذه الحقيقة كان عليه انتظار القرن السابع عشر ، وأعمال جاليليو Galileo ونيوتن Newton. وهناك حقائق أخرى وثيقة الصلة ، فالفترة التى يتذبذب فيها بندول متأرجح تكون مستقلة عن سعة أرجحته ، لكنها تتناسب مع الجذر التربيعى لطوله ، كما أن مسار قذيفة يتبع دائما منحنى هندسى دقيق يعرف بالقطع المكافئ parabola وقد استنتج كبلر Kepler علاقات رياضية تحكم حركات الكواكب ، مثل أن مربع مدة المدار orbital ، تتناسب مع مكعب متوسط المسافة عن الشمس .

وقد توج كل هذا نيوتن لقوانين الميكانيكا والجاذبية. فقد وجد أن الجاذبية تعمل وفقا لصيغة رياضية بسيطة ، تعرف بقانون تأسيسى التربيع العكسى inverse squaer law. ويوجد هذا القانون علاقة ما بين قوة الجاذبية والمسافة ، وأظهرت التجارب الأخيرة على القوى الكهربائية والمغناطيسية أنها تخضع أيضا لقانون التربيع العكسى .

وفى القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، اتسع الأساس الرياضى للفيزياء بدرجة كبيرة. ففى حالات عديدة ،ابتكرت موضوعات رياضية عديدة لتواكب متطلبات الفيزيائيين المتزايدة. وفى هذا القرن، خطا التطور الرياضى للفيزياء خطوات أكبر ، وأدمجت عدة فروع بحتة من الرياضيات ، مثل الهندسة غير الإقليدية **Non-Euclidean** ، والمتجهات الفضائية ذات الأبعاد اللانهاية **infinite-dimensional vector spaces** ونظرية المجموعة **group theory.**

والأشياء التى تبدو معقدة تماما أو غير منظمة من الظاهر، يمكن أن يتضح أنها تعبيرات لعلاقات رياضية غاية البساطة بمجرد معرفة شفرتها. وعندما يستكشف الفيزيائى عالم الطبيعة ، يصادفه ما يبدو لأول وهلة أنه شيء ملتو تماما أو حتى سلوك عشوائى . ويتضح أخيرا، بالاستعانة بنظرية رياضية معينة ، أن هذا السلوك مظهر لرياضيات بسيطة فى غاية اللطف.

لا يمكن إعطاء مثالا تاريخيا أفضل من حالة الحركة الكوكبية فى المجموعة الشمسية. وهو أن تحرك الكواكب فى السماء بطريقة منتظمة نسبيا، يجعل من السهل لأى شخص له اهتمام بالفلك أن يدركها. ومع ذلك ، تكشف دراسة تفصيلية عن أن كواكب معينة تختلف اختلافا كبيراً فى حركاتها. فالمريخ ، على سبيل المثال، يتحرك عادة من الشرق إلى الغرب عبر خلفية من النجوم البعيدة عندما نرصده من الأرض. لكنه يغير اتجاهه أحيانا ، ويتحرك مؤقتا جهة الشرق. " وعلى الرغم من ذلك ، فالكواكب الخارجية بالنسبة للأرض وهى (المريخ والمشترى وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو) ، تتحرك بصورة أكثر بطئا عن الكواكب الداخلية (عطارد والزهرة) ، ويكشف تحليل دقيق بعض السمات الأكثر تعقيدا.

كان النموذج المفضل للمجموعة الشمسية فيما مضى ، ذلك النموذج الذى استنبطه كلوديوس بطليموس **Claudius Ptolemy** فى القرن الثانى بعد الميلاد. الذى بنى على افتراض أن الأرض ثابتة فى مركز الكون ، وأن الكواكب مرتبطة بأجسام كروية متمركزة صلبة تدور بسرعات مختلفة. ولما اكتشفت الأرصاد الأكثر دقة حركات أكثر تعقيدا ، أصبح من الضرورى فى هذا النموذج أن يضاف إلى الأجسام الكروية الأصلية أجساماً كروية أخرى أصغر تدور بداخلها، بحيث يمكن أن توجد الحركات المشتركة لدورانين أو أكثر النشاط الكوكبى المرصود ، وفى القرن السادس عشر ،

عندما اكتشف كوبرنيكوس نظام المجموعة الشمسية الحقيقية ، أصبح نظام الأجسام الكروية البطليموسي نظاما مبتدعا فى غاية التعقيد.

قدمت الثورة العلمية التى صاحبت أعمال جاليليو ونيوتن نموذجا كلاسيكيا ، لهضم ما يبدو أنه فوضى معقدة – حيث أصبحت نظاماً غاية فى البساطة ، باستخدام نموذج رياضى متقن . وكانت الخطوة الأساسية لنيوتن اعتبار الكواكب أجساماً مادية تتحرك خلال الفضاء، وتخضع لقوانين الحركة والجاذبية الطبيعية – تلك القوانين التى استنبطها بنفسه من قبل. ونتيجة لذلك ، استطاع أن يصف كلا من ضخامة المدارات الكوكبية وأشكالها ، وكذلك مدتها . وكان ذلك يتفق بشكل دقيق مع الأرصاد. والفكرة الأساسية هى أن كلا من قوانين الجاذبية والحركة لنيوتن ، هى قوانين رياضية بسيطة ، حتى على مستوى طالب المدرسة الثانوية. وعلى الرغم من ذلك ، فعند خلطها معًا فإنها تؤدى إلى تنوع معقد ووافر من الحركات.

ويؤدى نموذج الحركة الكوكبية أيضا إلى توضيح نقطة مهمة عن العالم المادى . وغالبا ما كنت أتسائل عن السبب الذى يجعل الكون بهذا التعقيد ، إذا كانت قوانين الفيزياء بهذه البساطة. وتأتى الإجابة من فهم صحيح لما يعنيه قانون ، وعندما يتحدث فيزيائى عن قانون، فهو يقصد به بعض أشكال التقييد فى سلوك نسق من الأنظمة. وعلى سبيل المثال ، ينص قانون بسيط على أن جميع كرات البيسبول المقذوفة تتبع مسارات قطع مكافئ أو مخروطى . ويمكن التحقق من القانون بواسطة اختبار عدد من الحالات المختلفة لكرات البيسبول المقذوفة. ولا ينص القانون على أن جميع المسارات متماثلة. فلو كانت كذلك لكانت اللعبة مضللة بالفعل . فبعض القطوع المكافئة منخفضة ومنبسطة، والبعض الآخر عال ومنحن . وفى حين تنتمى جميع المسارات لنوعية المنحنيات والقطوع المكافئة ، فهناك تنوع من هذه المنحنيات يمكن الاختيار من بينها .

ما الذى يحدد أذن مسار القطع المكافئ **Parabolic Path** المعين الذى تتبعه أية كرة بيسبول ؟ وهنا تظهر مهارة القاذف ، لأن شكل المسار يتوقف على سرعة الإرسال **Speed** وزاوية القذف **Angle** فهذان المعاملان الإضافيان اللذان يعرفان "بالحالات الأولية " **initial conditions** ، يجب أن يتحددا قبل اختيار المسار بصورة فريدة .

والقانون سيصبح عديم النفع إذا كان مقيدا ، بحيث لا يسمح إلا بنمط واحد من السلوك. ويصبح حينئذ وصفا للعالم بدلا من أن يكون قانوناً حقيقياً. وفى العالم الواقعى ، يمكن أن يتأسس تعقد النشاط وكثرته على قوانين بسيطة ، لأنه توجد أنماط لا نهائية من الحالات الأولية تتمشى معه . ففى المجموعة الشمسية ، تشير القوانين إلى أن جميع المدارات الكوكبية لابدوأن تكون مدارات بيضاوية ، غير أن حجم وطول كل مدار بيضاوى **Ellipse** لا يمكن استنتاجه من القوانين . فهما يتحددان من الحالات الأولية ، والتى لا نعرفها فى هذه الحالة ، لأنها تعتمد على كيفية تكون المجموعة الشمسية فى بداية نشأتها. وتصف نفس القوانين مسارات المذنبات **Comets** ذات القطع المخروطى الفائق **hyperbolic paths** ، وكذلك المسارات المعقدة للمركبات الفضائية. وهكذا ، يمكن أن تبرهن المبادئ الرياضية البسيطة التى اكتشفها نيوتن على صحة مجموعة هائلة من الأنشطة المعقدة .

2 - الجمال كدليل لحقيقة التماثل :

الجمال مفهوم غامض ، ومع ذلك ، فإنه يعد مصدر إلهام العلماء المتخصصين . ففى بعض الحالات ، عندما يكون مسار المستقبل غير واضح ، يكون الجمال الرياضى وحسن الانسجام **Elegance** هو المرشد للطريق. وأحيانا ما يشعر الفيزيائى بصورة بديهية بنوع من الاعتقاد اللا معقول بأن الطبيعة تفضل الجمال على القبح. وقد أصبح هذا الاعتقاد حتى الآن رفيق الدرب القوى والوثيق ،على الرغم من خاصيته الذاتية .

وذات مرة ، أشار هايزينبيرج على أينشتاين لملاحظة التالية: " إذا قادتنا الطبيعة إلى أشكال رياضية ذات جمال وبساطة عظيمتين... لم يصادفها أحد من قبل ، فلا يمكننا إلا أن نفكر فى أنها "صحيحة " **True**، لأنها تكشف عن سمة عبقرية من سمات الطبيعة ."

ومضى يتحدث عن "البساطة المذهلة وكلية العلاقات التى تبرزها الطبيعة أمامنا فجأة" ، وهو الموضوع الذى وجد صدى لدى العديد من علماء جيله. فالعالم الإنجليزى بول ديراك **Paul Dirac** ذهب إلى حد أنه أعلن " أنه من المهم أن يكون لدينا جمال فى إحدى المعادلات، عن أن نجعلها تتوافق مع التجربة." والفكرة التى يشير إليها ديراك ، هى أن قفزة من التخيل الخلاق يمكن أن تصنع نظرية، والتى يمكن أن تكون

ملزمة فى أناقتها ، بحيث تقنع الفيزيائيون بحقيقتها قبل أن تخضع لاختبار التجربة ، حتى فى مواجهة ما قد يظهر أنه مناقض للبرهان التجريبى .

فى كتابه الرائع تفكيك الكون **Dismantling the Universe** ، وتناول الكاتب العلمى ريتشارد موريس **Morris Richard** هذه النقطة :

" هناك أوجه للتطابق بين العلوم والفنون أكثر مما تشاهده العين بشكل مباشر، فالعلماء مثل الفنانين غالبا ما يكون لديهم أساليب فريدة. وعلاوة على ذلك ، فأفكارهم عما يجب أن تكون عليه نظرية علمية سليمة تحفل بصورة غريبة من صور الإقناع الفنى الراسخ... والنظرية الصحيحة هى التى تتحقق صحتها بالتجربة. ومع ذلك، ففى بعض الحالات، يمكن أن يكون الهدف العلمى دقيقا لدرجة أن تصبح النظرية مقنعة حتى قبل إجراء التجارب عليها. وآينشتاين – والعديد من الفيزيائيين كذلك – ظلوا مقتنعين بحقيقة النسبية الخاصة... حتى وإن بدت التجارب مناقضة لها."

ومن الصعب توصيل روعة الرياضيات لمن ليست لديهم خلفية رياضية ، لكننى سأحاول. انظر إلى المنحنى بشكل 6 ، فعلى الرغم من أنه انسيابى ، فى الأساس وليست له سمات نسبيا ، إلا أنه يشابه من قريب شيء نقابله فى الحياة اليومية . فلو طلب منك أن تتذكر منحنى كهذا وتستنسخه بصورة دقيقة فى مناسبة أخرى ، فسوف تكون المهمة صعبة . ويمكنك أن تقوم بهذا ، ولنقل، مع دائرة ، أو حتى شكل أكثر تعقيدا يمكن أن تسلم بصحته ، مثل قطع ناقص(الذى يعتبر حالة خاصة من الدائرة)، غير أن المنحنى المرسوم بشكل 6 ، له تركيب أكبر كثيرا من دائرة. فكلا من ميل المنحنى وتكوره يتغيران على امتداد طوله بانتظام ، ورغم ذلك يصعب تحديده بدقة .

ومع ذلك ، يسلم الرياضى بصحة هذا المنحنى ، ويعرف كيف يستنبط خصائصه الكلية بحيث يمكنه تذكره بسهولة ويستنسخه بأى درجة من الدقة فى مناسبة قادمة. والمنحنى، فى واقع الأمر، مخطط لما يسمى بالدالة "الأسية" **Exponential Function**، التى يرمز لها (e^x) ، والتى غالبا ما تظهر فى المسائل العلمية.

ويزعم الرياضى أن " الدالة الأسية " تعتبر أكثر العلاقات أناقة، ولكن لماذا ؟

افترض أننا ندرس درجة ميل المنحنى فى كل نقطة ، فإنه يبدأ ضحلا من اليسار ويتدرج بصورة أكثر حدة. ارسم المخطط، ليس بالدالة الأسية، ولكن بميل الدالة

الأسية Gradient. ما ذا يكون هذا الشكل ؟ إنه يظهر مطابقا للدالة الأسية ذاتها. والمنحنى الأسى هو ذلك المنحنى الذى يساوى دائما (أو على الأقل متناسبا مع) ميله. وهذا ما يجعل الدالة الأسية متعاظمة الأهمية فى وصف بعض أشكال النمو البسيطة ، كتلك المتعلقة بزيادة النسل غير المنظم فى المجتمعات السكانية ، الذى يتناسب فيها الميل، الذى يعتبر مقياساً لمعدل نمو تعداد السكان نفسه. ويصدق هذا تقريبا على المجتمعات البشرية فى بعض مناطق العالم اليوم .

ويمكن إيجاد أناقة أخرى خفية فى المنحنى الأسى . انظر إلى شكل 7 ، يوحى المنحنى هذه المرة بشىء مألوف: موجة. ويعرف المنحنى من الوجهة الاصطلاحية بمنحنى جيبى Sine Wave ، فإذا أدخلنا جيب Sine "x" يمكننا أن نستنتجه أيضا جبريا بالحساب من الصيغة.

ومن الظاهر، يرتبط المنحنى الجيبى بوجه شبه بسيط جدا مع الدالة الأسية. والمنحنى الجيبى منحنى دورى – إنه يصعد ويهبط بصورة منتظمة – بينما يرتفع المنحنى الأسى دائما أسرع فأسرع. وتظهر العلاقة بين المنحنيين من خلال رسم ميل المنحنى الجيبى . والنتيجة، منحنى جيبى آخر، لكنه منزاح بربع الطول الموجى إلى اليمين. وهذا ما يسمى بمنحنى جيب التمام Cosine. وإذا ما رسم منحنى جيب التمام، فسوف نزيح نصف طول موجة آخر إلى اليمين، ويصبح لدينا منحنى مثل المنحنى الجيبى المقلوب . وبعد عمليتى ميل أخريين سنعود فى النهاية إلى المنحنى الأصلى . وهكذا تشترك المنحنيات الأسية والجيبية (أو جيب التمام Cosine) فى خاصية تماثل مهمة ، تربط شكل المنحنى بشكل ميل المنحنى.

تتضح هذه الصلة الخفية بين (e^x) و "x" Sine بصورة جلية فى نظرية الأعداد المركبة ، التى يمتد فيها نظام الأرقام المعتاد ليشتمل الجذور التربيعية للأعداد السالبة. ويجد المرء أنه عندما تكون سى الجذر التربيعى لعدد سالب، تصبح e^x مزيج من جيوب وجيوب تمام الموجة . وأذن لا يكون هناك ما يثير الدهشة حينما نجد أن النظم الفيزيائية التى تظهر سلوكا أسيا، يحتمل أن تظهر أيضا سلوك "المنحنى الجيبى" الدورى . وأحد الأمثلة ما يسمى بالمذبذب التوافقى .harmonic oscillator ويمكن أن يكون هذا بندولاً ، أو ببساطة كتلة معلقة بزنبرك. وإذا انزاحت الكتلة قليلا ، فستتذبذب Oscillate جيئة وذهابا مدفوعة بالقوة الدورية للزنبرك، وسوف يتغير وضع

الكتلة بعض الشيء وتوضحه الدالة الجيبية المبينة بالشكل 7 ، ويمكن إرجاع السبب فى ذلك إلى قانون قوة الزنبركات، أى أن قوة الزنبرك على الكتلة تتناسب تناسبا طرديا مع إزاحة الكتلة عن وضع الاتزان . واتجاه القوة هو محاولة لجذب الكتلة نحو موضع الاتزان Equilibrium Position وعلى ذلك، فإذا تمدد الزنبرك فسيكون قوة جاذبة Pulling Force ، وإذا ما انضغط فسيكون قوة دافعة Pushing Force .

وافترض الآن لو أن قانون القوة لم يتغير، غير أن القوة أثرت فى اتجاه بعيد بدلا من أن تؤثر فى اتجاه وضع الاتزان، فسوف يحدث سلوك مختلف تماما. سوف تتبع الكتلة منحنى أسيًا ، وتتسارع أسرع فأسرع فى نفس الاتجاه. ولا تقوم بذلك الزنبركات Springs بالطبع ، غير أن نظم أخرى تقوم بذلك. وأحيانا يتذبذب نظام مثل موجة جيبية Sine Wave فى ظل ظروف معينة ، وبعد ذلك ينطلق بسرعة فى صورة أسية Exponential تحت تأثير ظروف أخرى.

وإيجاد علاقات وتماثلات Symmetry خفية كهذه من خلال التحليل الرياضى ، يشكل جزءا من المهارات الفكرية لجميع الفيزيائيين المتخصصين . وغالبا ما يحدث ذلك عند التغيير الجذرى فى الصياغة الرياضية للوصف ، حيث تظهر التماثلات الأكثر دقة. وقد حدث هذا خلال الانتقال من فلك بطليموس إلى ميكانيكا نيوتن ، وحدث ذلك مؤخراً مع ميكانيكا نيوتن نفسها .

وفى القرن التاسع عشر ، أعاد الفيزيائى الفرنسى جوزيف لويس لاجرانج Joseph-Louis Lagrange والفيزيائى الأيرلندى ويليام روان هاميلتونWilliam Rowan Hamilton صياغة قوانين نيوتن بشكل كامل . وفى كلتا الحالتين حدث ضبط للوصف الرياضى للاستفادة من البساطة والأناقة الموجودتين فى ميكانيكا نيوتن. وتضمنت أعمال هاميلتون على وجه الخصوص على دليل غير متوقع لمفهوم الكم ، التى كان عليها أن تزيح من طريقها كل الفيزياء التقليدية ، بينما كان هناك ما هو أكثر من ذلك.

ومشكلة الميكانيكا الأساسية ، هى فهم ووصف وتوقع الاتجاهات أو المسارات المنحنية التى تتبعها جسيمات المادة تحت تأثير القوى المستخدمة. ومن الواضح أن لهذه القوى عدد لا نهائى من الأشكال يعتمد على طبيعة القوى المؤثرة. ومن الواضح أن هناك مشكلة مختلفة تماما تتعلق بالمسارات التى تتبعها أشعة الضوء خلال وسط شفاف، فالضوء لا يخضع لقوانين ميكانيكا نيوتن ، على الرغم من أنه من الحقائق

المعروفة أن مسارات الضوء يمكن أن تنحنى بإمرارها خلال مادة ذات كثافة متغيرة . وعلى سبيل المثال، فإن العصى تبدو منحنية عندما توضع فى بركة. والسبب فى ذلك هو أن موجات الضوء تتباطئ خلال مرورها فى المواد الكثيفة ، بحيث يمكننا القول بشكل مجمل أن الموجات الصغيرة عند نقاط مختلفة على الجبهة الموجية **Wave-front** تخرج عن خطواتها مع الموجات الأخرى، كلما قابلت أوساطاً ذات كثافات مختلفة. والنتيجة النهائية فى معظم الحالات، إن شعاعاً ضوئياً معيناً سيتبع مساراً يقلل الزمن الذى يقطعه ليصل من مكان لآخر. وهكذا، يمكن فهم شكل الشعاع الضوئى **Light Ray** على أساس نظرية الموجات **theory of waves** ، الذى ينتقل بسرعات متغيرة وفقا لطبيعة الوسط الذى يمر خلاله.

وعندما أعاد هاميلتون صياغة ميكانيكا نيوتن ، وجد أن التعبير الوجيز لقوانين الحركة كان موجودا فى بيان رياضى مطابق لبيان مبدأ الزمن الأدنى لموجات الضوء. وبصورة تقريبية ، تحاول الجسيمات الانتقال من مكان لآخر خلال أسهل الطرق المتاحة(والذى يعنى الأسرع فى معظم الحالات). ونتيجة لذلك ، وجد أن كلا من الجسيمات المادية وموجات الضوء ، بغض النظر عن طبيعتهما وسلوكهما المختلف تماما ، ينتقلان بالفعل بطريقة ما بحيث تطابق تقريبا وجه من الأوجه الرياضية.

وتكشف هذه النتيجة المدهشة – والتى تأتى بالكامل من محاولة إعادة صياغة قوانين الميكانيكا بصورة رياضية جديدة – عن تناسق عميق فى الطبيعة، يوحى ببعض المبادئ الخفية المعمول بها. وبالاستفادة من الإدراك المؤخر، يمكننا أن نرى الآن كنه هذه المبادئ. وتوحى العلاقة الوثيقة بين حركة الجسيم وحركة الموجات الضوئية بأنه ربما توجد خاصية شبيهة بالموجة مصاحبة للجسيمات المادية. وقد نوقشت هذه "الموجات الجسيمية" **Particle Waves** فى الفصل الثانى والثالث وتشكل نقطة البداية لنظرية الكم . وهكذا يمكن رؤية حيل هاميلتون الرياضية وكأنها تحدد معالم الطريق لنظرية موجية جديدة عن المادة .

3 - التماثل المختفى فى بنية الكون :

يعد مفهوم التماثل من الأفكار المجردة المألونة والمهمة فى حياتنا اليومية ، حيث يصنع العديد من المنتجات البشرية بشكل متعمد لكى تكون متماثلة ، إما لأسباب جمالية أو لأسباب عملية. فالكرة تبدو متماثلة **Symmetric** إذا أدرتها حول مركزها فى

أى اتجاه، وتظل المدخنة أيضا دون تغير فى ظل سلسلة أكثر انضباطا من الدورانات ، أى تلك الدورانات حول محور رأسى يدور حول مركز المدخنة.

وفى الطبيعة ، أيضا ، يعم التماثل. وتبدى كتلة ثلج رقيقة متساقطة تماثلا سداسيا رائعا ، حيث تظهر البلورات أشكالا هندسية متميزة ، مثل ، الشكل المكعب لبلورات الملح الذى يعكس الانتظام المتضمن فى التركيب الذرى . وقطرة المطر الساقطة تعتبر كرة صحيحة ، فإذا تجمدت يمكن أن تشكل كرة ثلجية كرية نطلق عليها البردة Hail Stone

وهناك تماثل آخر غالبا ما يظهر فى الطبيعة وفى التصميمات البشرى ألا وهو تماثل الانعكاس reflection symmetry فجسم الإنسان متماثل انعكاسيا تقريبا حول خط مركزى رأسى . وفى المرآة، تتبادل الأيدى اليمنى واليسرى والسمات الأخرى ، غير أن الصورة التى نراها لا نزال يمكننا التعرف عليها. والعديد من التصميمات المعمارية متماثلة الانعكاس ، مثل السراديب أو الممرات المجهزة تحت قناطر Archway والكاتدرائيات .

وهناك علاقة وثيقة بين التماثل الهندسى وما يعرف فى الفيزياء بقوانين الحفظ أو البقاء conservation laws . تخبرك قوانين الحفظ بأن أشياء معينة تظل دون تغير مع الزمن. وفى كرة القدم الأمريكية ، يظل عدد اللاعبين فى الملعب ثابتاً بلا تغير. فاللاعبون قد يجيئون ويخرجون، بينما يظل العدد الكلى ثابتا. وفى الفيزياء ، هناك قانون ينص على أن الطاقة Energy فى النظم المعزولة يجب أن تكون محفوظة، وكذلك كمية التحرك أو الزخم Momentum وأيضا كمية التحرك الزاوى .Angular Momentum ولا تعنى هذه القيود أن النظام لا يمكنه أن يتغير ، ولكن أى تغير يجب أن يكون مقيدا دائما بحيث تظل هذه الكميات الثلاث ثابتة. وفى لعبة السنوكر Snooker ، حيث تكون الكرات معزولة بطريقة ميكانيكية تقريبا بسبب النسيج الأملس لطاولة السنوكر ، فإن قوانين حفظ الطاقة وكمية التحرك تحدد اتجاهات وسرعات الكرات.

وتأتى قوانين الحفظ بشكل مباشر من قوانين الحركة لنيوتن ،غير أن الصياغة الأخيرة لهذه القوانين ، التى قام بها لاجرانج وهاميلتون أظهرت أهميتها بطريقة أكثر إيحاءاً. وما تكشف عنه هو علاقة قوية وعميقة بين حفظ كمية ووجود تماثل فى النظام المأخوذ فى الاعتبار. وعلى سبيل المثال ، إذا كان النظام متماثلا أثناء دورانه ،

فإنه طبقاً لمعادلات هاميلتون أو لاجرانج، فإن كمية التحرك الزاوى تكون ثابتة. وتقدم جاذبية الشمس توضيحا جيدا ، فدوران Rotation الشمس الكروية حول مركزها ، يجعل الأرض تستمر فى مدارها Orbit حول الشمس دون تأثر . فالمجال الجذبى للشمس متماثل فى توجيهه ، ولذا فإن دورة بسيطة تتركه دون تغير. ويترجم هذا التماثل الهندسى إلى نتيجة رياضية بأن كمية التحرك الزاوى لكوكب دوار تكون دائما ثابتة.(وقد اكتشف " كبلر" هذه الحقيقة بالفعل فى القرن السابع عشر ، غير أنه لم يدرك معناها الحقيقى .) وتطبق أفكارا مماثلة على كمية التحرك والطاقة.

وتماثلات مثل الدورانات والانعكاسات من السهل تخيلها وإمتاعها للعين ، لكنها لا تستنفذ مخزون التماثلات الذى تزخر به الطبيعة. وأحيانا ما يكتشف الفيزيائيون تماثلات جديدة وغير متوقعة عند استعراضهم وصفا رياضيا لنظام مادى . وتظهر التماثلات فى الرياضيات بطريقة دقيقة وخفية، ولن تكون واضحة بسهولة لشخص يرصد النظام المادى نفسه. وباستغلال الرموز فى معادلاتهم، يستطيع الفيزيائيون اكتشاف سلسلة كاملة من التماثلات بما فيها تلك التماثلات التى لا يمكن تخيلها.

وهناك مثال كلاسيكى حدث مع مطلع القرن، ويتعلق بقوانين حركة المجال الكهرومغناطيسى . وقبل ذلك بعدة عقود، أثبتت أعمال مايكل فارادى وآخرون أن الكهربية والمغناطيسية مرتبطتان ببعضهما البعض بصورة وثيقة، ويغذى كل منهما الآخر. ويمكن فهم تأثيرات القوى الكهربية والمغناطيسية بشكل جيد من خلال "المجال" Field ، وهو نوع من الهالة غير المرئية من التأثير المنبعث من المادة ويمتد عبر الفضاء ، ويمكن أن يؤثر على جسيمات مشحونة كهربيا أو مغناطيسيًا أو تيارات كهربية. ويمكنك أن تشعر بهذا المجال عندما تأتى بمغنطيسين متجاورين وتشعر وكأن أحدهما يجذب الآخر أو يدفعه، على الرغم من أن أحدهما لا يلمس الآخر بصورة فعلية .

وأخيرا ، فى خمسينيات القرن التاسع عشر استند جيمس كلارك ماكسويل James Clerk Maxwell على هذه المعرفة وضم المجالات الكهربية والمغناطيسية معا فى نظام من المعادلات. وجد ماكسويل فى البداية أن المعادلات تبدو غير متزنة ، فالصفات الكهربية والمغناطيسية لم تظهر بشكل متماثل تماما. وقد أضاف بناء على ذلك حد إضافى Term لكى يجعل المعادلات تبدو أكثر استحسانا وتماثلا. ويمكن تفسير الحد الإضافى نوع من "التأثير" الذى أهمل عند تكوين المغناطيسية

عن طريق مجال كهربى متغير - لكن تبين أنه موجود بالفعل. ومن الواضح أن الطبيعة تطابقت مع الحس الجمالى لماكسويل !

وأدى إدخال ماكسويل للحد الإضافى إلى نتائج غاية فى الروعة . أولا : فقد وحد بحق الكهربية والمغناطيسية فى مجال واحد، هو المجال الكهرومغناطيسى . وكانت معادلات ماكسويل أول نظرية للمجال الموحد، وأول خطوة على الطريق الطويل المؤدى إلى القوة العظمى **superforce** فقد وحدت ما يبدو من أول نظرة أنهما قوتان متميزتان من قوى الطبيعة ، هما فى الحقيقة مجرد وجهان مختلفان لقوة واحدة موحدة .

ثانيا : كان من بين حلول معادلات ماكسويل بعض الإمكانات غير المتوقعة والمثيرة. فقد اتضح أن المعادلات يمكن أن تتلاقى مع دالات جيبية عديدة (التماثل مرة أخرى) ، والتى كما وصفت سابقا فى هذا الفصل، تمثل تموجات دورية أو موجية. وقد استنتج ماكسويل أن هذه الموجات الكهرومغناطيسية يمكن أن تنتقل عبر المجال دون مساعدة، ومن ثم تنتشر خلال ما يبدو أنه فضاء فارغ **empty space** وقدمت معادلاته صيغة لسرعة الموجات على أساس الكميات الكهربية والمغناطيسية . وبوضعها فى أرقام، بلغت السرعة حوالى **300** ألف كيلو متر فى الثانية ، والتى تعتبر سرعة الضوء. وكانت النتيجة لا مفر منها : يجب أن يكون الضوء موجة كهرومغناطيسية ، يمكنها بالفعل أن تنتقل عبر فضاء خال ، وبهذه الطريقة نرى الشمس.

ومضى ماكسويل لما هو أكثر من هذا وتنبأ بوجود موجات كهرومغناطيسية لها أطوال موجية أخرى، وبعد ذلك بعدة سنوات تأكد تنبؤه عندما أنتج هاينريش هيرتز **Heinrich Hertz** [(1)] أول موجات راديوية فى المعمل. ونعرف حاليا أن الأشعة السينية والأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية وموجات الميكروويف هى أيضا موجات كهرومغناطيسية. واتخذ التماثل البسيط لماكسويل مسارا طويلا .

وكان لاكتشاف الموجات الكهرومغناطيسية نتائج بعيدة المدى على الراديو ، وفى النهاية على الاكتشافات الإليكترونية التى تعد نموذجا رائعا ليس فقط لقوة الرياضيات فى وصف العالم وتوسيع معرفتنا به ، ولكن أيضا باستخدام التماثل والجمال كقاعدة مرشدة . غير أن الأبعاد الكاملة لتماثل معادلات ماكسويل قد تطلب خمسين عاما حتى قدرت حق قدرها .

(1) هاينرتش رودولف هيرتز(1857 - 1894) : فيزيائى ألمانى ساعدت دراساته على ظهور الراديو

ومع مطلع القرن ، اختبر هنرى بوانكيريه Henri Poincare [1] وهندريك لورنتش Hendrik Lorentz البناء الرياضى لمعادلات ماكسويل ، مع عناية خاصة بالتماثلات المختفية بين الرموز، تلك التماثلات التى لم تكن معروفة فى ذلك الحين. و"الحد الإضافى " Extra Term الشهير الذى أدخله ماكسويل كى تتزن معادلاته ، ظهر أنه يعطى المجال الكهرومغناطيسى شكلا قويا، لكنه نوع من التماثل المراوغ الذى لا يظهر إلا بعد التحليل الرياضى الدقيق. وبدا أنه لم يكن هناك غير آينشتاين – من خلال نظرته الثاقبة – أن شك فى هذا التماثل على أسس فيزيائية .

ويشبه تماثل لورنتش – بوانكيريه فى جوهره ، فكرة التماثلات الهندسية ، مثل الدورانات والانعكاسات ، لكنه يختلف فى بعض الوجوه المهمة: فلا يوجد شخص آخر فكر فى مزج الفضاء بالزمن معا بطريقة فيزيائية. فالفضاء هو الفضاء ، والزمن هو الزمن . وقد كان التقاء التوأم فى تماثل لورنتز – بوانكيريه غريبا وغير متوقعا .

وفى الأساس ، يعد التماثل الجديد أكثر شبهها بالدوران Rotation ولكن ليس فى الفضاء وحده. وبدلا من ذلك ، يتضمن الدوران على الزمن أيضا. فإذا أضيفت أبعاد الفضاء الثلاثة إلى بعد الزمن الواحد ظهر الفضاء – الزمن Space-Time ذى الأبعاد الأربعة . حينئذ يكون تماثل لورنش – بوانكيريه نوع من الدوران فى الفضاء – الزمن . وتأثير الدوران فى الفضاء – الزمن هو إسقاط بعض الأطوال المكانية فى الزمن والعكس صحيح ، وكون معادلات ماكسويل متماثلة ، حتى فى ظل عمليات ربط الفضاء بالزمن، أمر له دلالات عميقة .

هذا الإيحاء جعل آينشتاين يصل إلى التضمينات الكاملة . فالفضاء والزمن ليسا كيانان مستقلان ، أنهما متضافران. و"الدورانات" الدقيقة التى توصل إليها لورنش – بوانكيريه ليست مجرد رياضيات بحتة ، لكنها يمكن أن توجد فى عالم حقيقى خلال الحركة Motion والجزء الهام فى "إسقاطات" الفضاء – الزمن الغريبة يتوقف على سرعة الضوء والموجات الكهرومغناطيسية بصفة عامة ، والتى تظهر أيضا من معادلات ماكسويل. وعلى ذلك ، هناك علاقة دفينة بين فكرة حركة الموجة الكهرومغناطيسية وبنية الفضاء – الزمن . وعندما ينتقل راصد بسرعة تقترب من سرعة الضوء ، فإن الفضاء والزمن يصبحان مضطربان disordered بدرجة شديدة بطريقة متماثلة ، كما توضحه

(1) جول هنرى بوانكريه (1854 - 1912) : فيزيائى ورياضى وعالم فلك فرنسى .

العمليات الرياضية للورنش – وبوانكيريه . وكان هذا هو التأثير الغريب، الذى كان مناقضا تماما للبديهة ، والذى شرحناه فى الفصل الثانى . وكان لهذا الإدراك الثاقب الجديد للتماثل المختفى والغير ملاحظ فى الطبيعة أن تولدت نظرية آينشتاين عن النسبية ، ونشأت معها الفيزياء الحديثة التى هزت المجتمع العلمى ، وغيرت وجه القرن العشرين .

4 - التماثل المجرد فى حياتنا :

الدرس المستفاد من لورنتز وبوانكيريه هو أن أوجه تقدم هائلة يمكن أن تحدث فى الفيزياء من خلال استكشاف رياضى ، وخاصة عندما يستغل مفهوم التماثل . ومع ذلك فإن التماثلات الرياضية من الصعب أو حتى المستحيل تخيلها فيزيائيا ، إلا أنها رغم ذلك يمكن أن تحدد الطريق نحو قوانين جديدة للطبيعة.

وحتى الآن ، تضمنت التماثلات التى تم مناقشتها جميعها على الفضاء – الزمن . غير أن مفهوم التماثل يمكن أن يتسع ليحتوى أفكاراً مجردة أخرى . وكما سبق وأن شرحنا ، فهناك علاقة وثيقة بين التماثل وقوانين الحفظ. ومن أحد قوانين الحفظ الراسخة ، قانون حفظ الشحنة الكهربية **Electric Charge** فالشحنة يمكن أن تكون سالبة أو موجبة ، وتنص قوانين حفظ الشحنة على أن الكمية الكلية للشحنة الموجبة ناقصاً الكمية الكلية للشحنة السالبة لا يمكن أن تتغير. وإذا تلاقت هناك كمية من شحنة موجبة مع كمية مساوية من شحنة سالبة، يمكن أن تتعادل الشحنتان لتعطيا صافياً يساوى صفرا . وبالمثل ، يمكن أن توجد شحنة موجبة كلما كانت توجد كمية مساوية من شحنة سالبة موجودة بالفعل كى تتوافق معها . غير أن ظهور أو اختفاء كمية صافية من الشحنة يعتبر ممنوعا بشكل قاطع .

وإذا ما حفظت شحنة كهربية، يظهر التساؤل بصورة طبيعية فيما يتعلق بطبيعة التماثل الذى يصاحبها. وقد يبحث المرء بلا جدوى ليجد أى تماثل هندسى **Geometrical Symmetry** يتمشى مع قانون حفظ الشحنة الكهربية. بيد أن جميع التماثلات لاتعتبر هندسية فى طبيعتها. ولنأخذ على سبيل المثال، ظاهرة التضخم **phenomenon of inflation** فى الاقتصاد. فكلما انخفضت القيمة الحقيقية للدولار، انخفض بالمثل ثراء أحد الأفراد له دخل ثابت . ومع ذلك ، فإذا كان لشخص دخل مرتبط بالمؤشر ، فإن قوة مكسبه الحقيقية تصبح مستقلة عن قيمة العملة . ويمكننا القول أن الدخل

المرتبط بمؤشر يكون متماثلا فى ظل تغيرات تضخمية . " والارتباط بمؤشر التضخم هنا يعنى أن دخله يزداد بقيمة انخفاض قوة العملة بالتضخم ".

وفى الفيزياء أيضا، هناك العديد من الأمثلة على التماثلات غير الهندسية. تتعلق أحد هذه التماثلات بالشغل Work المطلوب لرفع وزن . فالطاقة المبذولة تعتمد على الفرق فى الارتفاع الذى يرتفع خلاله الوزن (ولا تعتمد على المسار المختار) . ومع ذلك ، فإن الطاقة مستقلة عن الارتفاع المطلق: فلا يهم ما إذا كانت الارتفاعات مقاسة من منسوب سطح البحر أو من سطح الأرض، لأن المستخدم هو فرق الارتفاع فقط. ونتيجة لذلك ، يوجد تماثل فى ظل تغيرات اختيار صفر الارتفاع Zero Height.

وهناك تماثل مشابه فى المجالات الكهربية، وفى ذلك يلعب الڤولت Voltage (الدفع الكهربى) دورا شبيها بالارتفاع . فإذا تحركت شحنة كهربية من نقطة إلى أخرى فى مجال كهربى ، فإن الطاقة المستهلكة لا تعتمد إلا على فرق الڤولت بين النقاط النهائية فى مسارها . وإذا استخدم ڤولتا إضافيا ثابتا مع النظام ككل ، فلا تتغير الطاقة المستهلكة . ومع ذلك فلا يزال هناك تماثل آخر خفى لمعادلات ماكسويل الكهرومغناطيسية !

وتوضح الأمثلة الثلاثة التى قدمناها آنفا ما يسميه الفيزيائيون بالتماثلات القياسية gauge symmetries . ويمكننا اعتبار التماثلات المتضمنة إعادة لتحديد قياس النقود ، والارتفاع ، والڤولت على التوالى . فكلها تماثلات مجردة ، بمعنى أنها لا تعتبر للڤولت تماثلات هندسية . فى طبيعتها ، فلا يمكننا أن ننظر إليها ونرى التماثل. وعلى الرغم من ذلك ، فلا تزال تعتبر محددات مهمة لخصائص الأنظمة المعنية. وبالفعل، فالتماثل القياسى المحكم للڤولت هو الذى يضمن حفظ الطاقة الكهربية .

5 - أزمة الهوية النووية :

وكمثال أخير على تماثل مجرد ، والذى سيتضح أنه على درجة كبيرة من الأهمية فى الفصول الأخيرة ، فسوف ننتقل إلى القوة النووية الشديدة التى تعمل بين البروتونات والنيوترونات . وتوضح التجارب أن الشدة والخصائص الأخرى لهذه القوة لا تعتمد على ما إذا كانت الجسيمات المستخدمة بروتونات أم نيوترونات. وفى الواقع ،

فإن البروتون والنيوترون من الجسيمات المتماثلة بصورة ملحوظ . فكتلها تقع فى حدود من إحداهما الآخر، ولهما نفس اللف، وتستجيب بصورة نموذجية للقوة النووية ، والسمة المميزة الوحيدة هى نوع الشحنة الكهربية التى يحملها البروتون، وبقدر ما تكون القوى النووية مأخوذة فى الاعتبار، لا تكون الشحنة الكهربية بذات أهمية وتعمل كمجرد علامة أو لافتة . وتعمل الشحنة على تحديد البروتون **Proton** وتمييزه عن النيوترون **Neutron** ، لكنها لا تلعب دورا فى القوة النووية التى تربط النيوترونوات بالبروتونات . وإذا نزع من البروتون شحنته فإنه يعانى من أزمة هوية يائسة .

ويوحى التشابه الوثيق بين البروتون والنيوترون بتماثل موجود. وتظل العمليات النووية دون تغير ، إذا أمكننا بشىء من السحر تبادل هويات جميع النيوتونات والبروتونات. غير أنه يمكن للمرء أن يمضى لأكثر من هذا. تخيل أن لدينا مقبضا سحريا مزودا بمؤشر . فعندما يدور المقبض يسمح لنا بأن نحول البروتونات إلى نيوترونات. وعندما يوجه المؤشر لأعلى، تصبح الجسيمات المعنية بروتونات، وعندما يلف المقبض ويوجه المؤشر إلى أسفل ، تتحول جميع البروتونات إلى نيوترونات (انظر شكل 8) . وبطبيعة الحال ، فهذه تجربة تخيلية تماما ، حيث لا يمكننا أن نغير هويات البروتونات والنيوترونات . فهى فكرة مجردة ، تكشف عن تماثل مجرد، لكنها رغما عن ذلك فكرة عظيمة الفائدة إذ تساعدنا على فهم طبيعة القوة النووية .

افترض الآن أن التغير فى الهوية من بروتون إلى نيوترون لا يحدث بشكل مفاجئ ، لكنه يحدث بصورة مستمرة كلما دار المقبض. فعند أوضاع متوسطة للمؤشر، لا تكون الجسيمات بروتونات خالصة ولا نيوترونات خالصة بل نوع هجين من كليهما. وعندما يتحرك المؤشر بعيدا عن وضع الساعة الثانية عشرة، تبدأ "بروتونية" الجسيمات فى الخفوت ، بينما تأخذ نيوترونيتها فى الظهور. وقد يكون من الصعب تخيل هذه "البروتونية" و"النيوترونية"، أو ما يعنى هجين بروتون – نيوترون. والتفسير البديل للأوضاع المتوسطة للمؤشر هو أنه، عند فحص جسيما معينا فأحيانا ما يوجد بروتونا وأحيانا نيوترونا. والجسيم له نوع من أزمة الهوية وينقلب جيئة وذهابا بصورة عشوائية بين الحالتين المحتملتين من "بروتون" و"نيوترون". فعندما يقترب المؤشر من

وضع الساعة الثانية عشرة، يقضى الجسيم معظم وقته كبروتون ، ولذا فعند اختباره يكون الاحتمال الأرجح أن يوجد كبروتون. وعندما يتحرك المؤشر إلى وضع الساعة السادسة، فيحتمل أن يكون الجسيم على الأرجح نيوترونا. وعندما يكون المؤشر موجها لأسفل تماما، يتضاءل المحتوى البروتونى تماما ويصبح نيوترونيا 100 ٪ .

وإذا زود المقبض السحرى بمؤشرتين علوى وسفلى (شكل 9) ، فيمكننا تصور نفس الدوران للمقبض الذى يغير البروتونات إلى نيوترونات كما يغير النيوترونات إلى بروتونات. والمقبض الموضوع كما مبين فى الشكل 9 (A) يماثل الوضع الحالى لكوننا. فعندما يدور شكل 9 (B) تبدأ جميع البروتونات فى التحول إلى نيوترونات ، بينما تبدأ جميع النيوترونات فى التحول إلى بروتونات ، ويكون خليط النيوترونية بين البروتونات مثل خليط البروتونية بين النيوترونات. وعندما يأخذ المقبض نصف لفة كاملة، فإن كل البروتونات والنيوترونات تتبادل هويتها ، شكل (C) .

والتصور الخيالى للمقبض والمؤشر مفيدان فى وصف طبيعة التماثل الذى تقوم عليه القوى النووية. وباستخدام هذه الطريقة يمكننا القول ، أساسا، أن القوى النووية مستقلة عن وضع المؤشر. فيمكنها أن تكون لأعلى أو لأسفل أو فى وضع جانبى أو بأية زاوية متوسطة. والقوة النووية لا تتغير ، وهى خاصية تعرف " بالنسجية الأكثر روعة تماثل اللف النظائرى " isotopic spin symmetry وتشير صفة النظير إلى أن النوى التى تختلف فى عدد بروتوناتها تسمى بالنظائرisotopes ، فى حين تكون خصائص التماثل المتضمنة هنا مشابهة بدقة للف الحقيقى المذكور فى الفصل الثانى .

6 - الفيزياء الحديثة والخيال المبدع :

يعتبر مفهوم اللف النظائرى مثال رائع لقوة التعليل المجرد فى الفيزياء ، وهو المفهوم الذى ستتضح أبعاده العميقة كما سنرى . ففى العالم الواقعى ، لا توجد " مقابض سحرية ومؤشرات "، ولا توجد أدوات لخلط هويات البروتونات والنيوترونات. فالفكرة هى ابتكار نظرى مجرد، فنتازيا Fantasy وعلى الرغم من ذلك، تعتبر ممكنة من الناحية المنطقية. فيمكننا أن نتخيل إجراء مثل هذا الشىء حتى لو كان ممتنعا فى العالم الواقعى . وحقيقة أن العملية التخيلية يمكن أن تكون ذات صلة أساسية بالفيزياء الحقيقية فى العالم الواقعى قد تأتى بصورة مفاجئة ، غير أن اتباع طريقة كهذه يعد أداة مهمة فى ترسانة الفيزيائى الحديث. فهو ينظر إلى الفيزياء

كنموذج يصف عالم الخبرة الواقعى . وقد يتضمن النموذج عددا من السمات المساعدة ، التى لا تعتبر جزءا من هذه الخبرة، لكنها تلعب رغما عن ذلك دورا أساسيا فى النظرية .

لماذا ينبغى على الفيزيائيين ابتكار كيانات مجردة تخيلية كنموذج للعالم الواقعى ؟ ألا يمكن التعامل كلية مع كميات يجرى رصدها بالفعل ؟ وبرغم كل شىء ، لا يمكن التحقق من النظريات إلا بوسطة رصد حقيقى ، ولا تظهر سمات النموذج الحقيقية بسهولة مطلقا فى أية تنبوءات للنظرية تتعامل مع أرصاد فعلية. إذن فلماذا نضعها فى الاعتبار ؟

ويعتبر إدراج العناصر التخيلية فى نظريات فيزيائية أحد الممارسات الصعبة بالنسبة لفيزيائى متخصص يبررها لشخص عادى ، وبالطبع ، إذا كانت سمة معينة مثل تماثل اللف النظائرى تضفى على النموذج نجاحا لامعا ، حينئذ يمكن أن يرد الفيزيائى : " أنا وضعتها كذلك لأنها ستنجح !"

والشىء المحير هو كيف يعرف الفيزيائى أية قطعة بالضبط من اللوحات التعبيرية فى قصة أليس فى بلاد العجائب يجب عليه تضمينها . ونظرا لحقيقة أن السمة المعنية تخيلية تماما، فقد يبدو للساخر أن أى شىء ممكن:" فليس هناك حاجة إلى التقاط أشياء موجودة بالفعل فى العالم الخارجى ، اختار ما تريده من خيالك ." ومدى الاختيار غير محدود . كيف تختار الشىء الصحيح؟

إنها تلك المرحلة التى يبدأ فيها الفيزيائيون استخدام كلمات مثل الجمال والأناقة الرياضية والتماثل. وعلى الرغم من أن تضمين الأفكار التخيلية أو المجردة، مثل التماثل القياسى ، لا يعتبر من الضرورى منطقيا لصياغة نظرية ناجحة - فمن حيث المبدأ يمكن أن تصاغ جميع النظريات كلية على أساس الكميات الممكن رصدها - وعلى الرغم من ذلك، فقد تكون نظرية بسيطة بدرجة هائلة وأكثر قبولا إذا ما تضمنت مثل هذه العناصر المجردة.

ولندرس فكرة المجال، التى أثبتت نجاحها فى الفيزياء والهندسة. فقد أدخل فارادى وماكسويل مفهوم المجال فى صورة فكرة تجريدية. فلا يمكننا أن نرى أو نلمس بشكل مباشر مجالا كهرومغناطيسا ، لكننا نعرف أنه موجود من خلال التأثير الذى

يؤثـر به على الشحنات الكهربية. ومن ناحية أخرى ، فإذا كان المجال **Field** لا ينتج إلا بواسطة شحنات كهربيـة أخـرى ، فـإن ما نتعامـل معه فـى الحقيقـة هو تفاعل بين الشحنات الكهربية . وإذا كـانـت الشـحنات نفسـها هـى فـى الواقـع الكيانـات التى ترصدها ، فلماذا نحتاج إلى مجال على الإطلاق؟ لماذا لا نتحدث إلا عن الطريقة التى تؤثر بها الشحنات على بعضـها البعض عبر الفضاء، وصيـاغـة كل معادلات نظريات الكهربية على أساسها وحدها ؟

ويمكن أن يحدث هذا. والاختلاف هو أن النظرية الناتجة سوف تتسم بالفوضى والتعقيد بصورة كبيرة ، ومع ذلك يمكن أن يتعرف عليها فيزيائى متخصص بشكل مباشر . ونظرية المجال ، تعتبر نظرية فى غاية "الأناقة" ، **Elegant** والرياضيات أكثر سلاسة وأكثر انسجاما وتتداخل بصورة أكثر دقة ، وأكثر إيحاءاً .

وتعتبر هذه نقطة مهمة. فغالبا ما تحدد النظرية الأنيقة والمبسطة والمجردة الطريق لتطورات جديدة فى الفيزياء، ولن تبرز نفسها ببساطة إذا تعلق الباحثون بالنماذج المصاغة كلية على أساس كميات فعلية يمكن رصدها. وعلى سبيل المثال ، فنظرية مجالات الكم برغم أهميتها للقوة العظمى والتطورات الحديثة الأخرى فى الأبحاث الأساسية ، لم يمكن لها أن تبرز لو لم يكن مفهوم المجال شائعا بين الفيزيائيين.

وعندما يصبح مفهوم مجرد ناجحا لدرجة أنه يشيع بين العامة، يصبح التمييز بين الحقيقى والخيالى غير واضحا، تصبح صفة التخيل **imaginary** للفيزيائى مسلحة بالمعرفة التى تبدو أنها تحولها إلى شىء حقيقى ، وهذا ما قد حدث فى حالة الطاقة . فقد أدخل مفهـوم الطاقـة فـى الفـيزياء كفكرة مجردة ، والشىء الذى جعله مغريا هو قانون دوام حفظ الطاقة وأنها لا تتكون من عدم ولا تفنى. ومع ذلك ما هى الطاقة ؟ هل يمكنك أن تراها أو تلمسها ؟

وعندما يرفع وزنا فوق الأرض، يجب أن يبذل بعض الشغل **Work** لرفعه. ونقول أن الطاقة قد استهلكت، بينما يضمن لنا قانون حفظ الطاقـة أنها لا تزال موجـودة هناك فى مكان مـا . ويمكننا رؤية العضـلات المجـهدة للشـخص الذى يرفـع الوزن ، ويمكننـا أن نتخيل رؤية الطاقة ماثلة بالفعل فى قسمات وجهه الملتوية وانتفاخ عضلات ساعده . ولكن عنـدما يرفع الوزن ، ويوضع بطريقة مريحة على مائدة ، فأين ذهبت الطاقة ؟ هل لا يزال يمكننا رؤيتها ؟

يقول الفيزيائى أن الطاقة قد اختزنت فى الوزن ، نظرا لمكانه المرتفع ، وهذا هو المفهوم المراوغ لطاقة "الوضع" **potential energy** أو الطاقة الكامنة . فالطاقة موجودة على الرغم من أنها غير مرئية ، ويمكن استعادتها بسهولة عن طريق الحيلة البسيطة بأبعاد الدعامة وجعل الوزن ينكسر. وصوت الكسر هو بعض من الطاقة المختزنة أو الكامنة التى تنطلق .

وعلى ذلك فالطاقة هى مفهوم تخيلى مجرد ، ورغما عن ذلك أصبح إلى حد بعيد جزء من لغتنا اليومية التى تكسبه وجودا حقيقيا. فعبارة " ليست لدى طاقة كافية لحفر الحديقة"، عبارة لا يحتمل أن تجذب النظرات المحدقة بالفهم . ولا يسأل أحد ما هو لون طاقتك ، أو يطلب منك أن تسكبها فى طبق حتى يمكن تقدير حجمها. ومع ذلك فهى مقبولة دون أن تسأل أن لك طاقة كما أن لك بشرة وعظام .

والطاقة من أكثر المفاهيم المجردة التى يكابدها الفيزيائى ، وهى عظيمة الفائدة فى وصف سلسلة كبيرة من العمليات الفيزيائية . ويشمل قانون حفظ الطاقة على مجموعة هائلة من الخبرات ، التى فى غياب مفهوم الطاقة، يجب أن تناقش كل منها على حدة . فالطاقة تجعلنا نصل العديد من الأفكار ببعضها ، وعلى ذلك يحق أن تكون جميلة .

وفى تلك المسألة تكمن فتنتها ونفعها. فالطبيعة جميلة. ونحن لا نعرف السبب فى ذلك، لكن التجربة قد علمتنا أن الجمال يتضمن المنفعة **Utility** والنظريات الناجحة هى دائما نظريات جميلة ، فهى جميلة ليس لأنها ناجحة ولكن بسبب تماثلها الكامن، ودقتها الرياضية . والجمال **Beauty** فى الفيزياء هو رأى صائب يتضمن قصداً وظيفياً ، لا يمكن توصيله بسهولة للإنسان العادى لأنه يعبر عنه بلغة لم يتعلمها الشخص العادى ، لغة الرياضيات ، ولكن بالنسبة لشخص مطلع على هذه اللغة ، فالجمال واضح كالشعر .

وهذا يعيدنى إلى نقطة البداية . فالرياضيات لغة، لغة الطبيعة. إن لم تستطع أن تتحدث لغة ، فلا يمكنك أن تفهم جمال شعرها. وهناك دائما عذر لمن يقول: "ما هو الجمال الرياضى الغامض الذى تتحدث عنه؟ أنا لا أرى أى شىء جميل فى كومة الرموز . فأنتم أيها الفيزيائيون تضللون أنفسكم ." وأود أن أجيب من خلال مقارنة

الرياضيات بالموسيقى ، فبالنسبة لشخص لم يستمع إلا لنغمة موسيقية واحدة ، سوف يستحيل تفسير جمال السيمفونية . ومع ذلك فمن منا ينكر وجود الجمال فى سيمفونية، على الرغم من طبيعتها المجردة والتى لا يمكن تحديدها ؟ وبالمثل ، فبالنسبة لشخص تقتصر خبرته فى الرياضيات على عد الأرقام ، كيف يمكنه أن يعبر عن إحساسه بالسرور والمتعة الدفينة فى معادلات ماكسويل ؟ وعلى الرغم من ذلك ، فالصفة الجمالية موجودة بها بدرجة كافية ، والفيزيائيون من ذوى الذوق الرياضى ينتجون معا نظريات أفضل من الأشخاص المتعلقين بكل ما هو قديم ، كما يفعل زملائهم فى التأليف الموسيقى .

ومن إحدى الفواجع العظيمة فى مجتمعنا – الذى نشأ على الخوف والتعليم السطحى ، ونقص الدافع – أن الغالبية العظمى من الناس قد أوصدت آذانها عن الشعر الجمالى وموسيقى الطبيعة. وينكرون المشهد الشامل الذى تكشف عنه الرياضيات ، قد يبهجهم عبير وردة أو لون شروق الشمس ، ولكن البعد الكامل للخبرة الجمالية بعيد المنال بالنسبة لهم .

الفصل الخامس

القوى الأربع الأساسية

1 - القوى كمصدر للتغيير :

منذ أن تأمل الإنسان العالم من حوله فقد تبين له وجود التغيير. فالعالم ممتلئ بالنشاط ، هناك حركة الشمس ، وهبوب الرياح ، وتحليق الطيور ، وجريان الجداول المائية ، لقد لاحظ الإنسان القديم الفصول ، وتمر والناس فى العمر ، وتبلى أدواته البدائية .

ولكن ما هو الباعث على التغيير والحركة ؟ بعض الأشياء ، مثل الحيوانات ، مثل الصخور دافعة ، فى حين تبين أن أشياء أخرى كالصخور والسهام والمعاول تحتاج إلى دفع خارجي يجعلها تتحرك. وفى البداية، لم يكن هناك تمييز واضح بين جسم يتحرك خلال الفضاء وتغير من أى نوع . ولم تكن الأفكار الدقيقة عن السرعة Velocity وعجلة التسارع Acceleration تصاغ بشكل جيد . ومن المؤكد أن أسلافنا القدماء تخيلوا القوى التى شكلت العالم وأحدثت التغيير ، غير أن هذه القوى كانت غامضة الصفات ، ولا يمكن فصلها عن معتقداتهم فى " الآلهة" التى حكمت عالمهم .

وتبنى الفلاسفة اليونان دراسة نظامية أخرى عن التغيير Change والحركة motion غير أنهم لم يفهموا الأسباب ، واعتقد أرسطو أن السبيل إلى فهم الحركة Moion هو المقاومة ، فقد لاحظ أن جسما يتحرك بطلاقة تامة ، وبطريقة أسرع خلال وسط خفيف كالهواء عن تحركه خلال وسط كثيف كالماء ؛ وفى كلتا الحالتين كانت هناك حاجة إلى قوة دافعة للتغلب على مقاومة Resistance هذه السوائل ، وصب جام غضبه على الفكرة الذرية للجسيمات خلال تحركه لحرة فى الفراغ ، لأن الفراغ Void لكونة خال من المادة فإنه لايبدى أية مقاومة ، واحتمال أن تتحرك الجسيمات نتيجة لذلك بسرعة لا نهائية احتمال غير متوقع .

ولم يتطور المفهوم الهندسي الحديث عن القوة Force بشكل كامل إلا في القرن السابع عشر ، الذي رأى قبول قوانين الميكانيكا لنيوتن . وكان عمل نيوتن الرائع هو إدراك أن الحركة في حد ذاتها لا تحتاج بالضرورة إلى قوة . فالجسم المادي يتحرك بسرعة منتظمة في اتجاه ثابت بدون أي عون خارجي لدفعه أو جذبه ، والانحرافات عن الحركة المنتظمة هي التي تتطلب تفسيراً ، أي ، وجود قوى ، ووفقا لنيوتن ، فالقوى تحدث المتسارع وقد قدم صيغة رياضية دقيقة تربط الاثنين معا.

وفسرت نظرية نيوتن في الحال لغز حركة الأرض حول الشمس. فلا توجد قوة خارجية تدفع أو تجذب الأرض أو تجذبها في مدارها. وفي نظرية نيوتن، ليس هناك شيء مطلوب. وحقيقة حركة الأرض ليست مشكلة؛ فالانحراف عن الانتظام(حركة خط مستقيم عند سرعة ثابتة) هو الذي يتطلب تفسيرا. ويعد مسار الأرض خلال فضاء ينحني باتجاه نحو الشمس حقيقة فسرتها بسهولة قوة جاذبية الشمس.

وسرعان ما أصبحت ميكانيكا نيوتن حقيقة مؤكدة ، حيث تعتبر وصفا ناجحا عن القوة والحركة، وتشكل الأساس لكل الأمور الهندسية. ومع ذلك ، فلم تشر إلى مصدر القوى الذي يعجل المادة. ويبدو من الوهلة الأولى أن هذه القوى عديدة ومتنوعة: تأثير الرياح أو جريان النهر، أو ضغط الهواء أو اندفاع الماء، وتمدد المعدن، والانفجار العنيف للمواد الكيميائية المتفجرة، والشد العنيف المطاط ، وقوة العضلات البشرية، ووزن الأشياء الثقيلة، وغيرها من الأشياء. ويبدو أن لبعض القوى تأثير مباشر عند اتصالها بجسم، كما في حالة شد حبل. وفي البعض الآخر مثل الجاذبية يكون تأثيرها غير مباشر خلال فضاء فارغ .

وعلى الرغم من هذا التنوع الكبير، فقد أظهرت الدراسة أن نشاط الطبيعة يمكن إرجاعه إلى تأثير قوى أساسية أربع فقط. هذه القوى هي المسئولة عن كل أنشطة العالم. فهي مصدر كل التغيير. وكل قوة لها أوجه شبه واختلاف عن الأخريات. وفهم خصائص هذه القوى الأربع هو الشغل الشاغل للفيزيائي ، ويشكل ضرورة أولية على الطريق المؤدي إلى القوة العظمى .

2 - قوة الجاذبية الغامضة :

كانت الجاذبية ، من الناحية التاريخية، أولى القوى الأربع التي تم دراستها بطريقة علمية، فعلى الرغم من إدراك الإنسان للجاذبية ، وتكوين أفكار بعينها عن الصعود والهبوط ، فلم يتم التعرف على الدور الحقيقي للجاذبية كقوة من قوى الطبيعة

إلا عندما نشر نيوتن نظريته عن الجاذبية فى القرن السابع عشر . وحتى ذلك الحين ، كانت الجاذبية **Gravity** ترتبط بالأرض بطريقة لا يمكن الخلاص منها، واختلطت بكل ما سيطر على المعتقدات الفلكية . فأرسطو ، الذى اعتقد أن الأرض تقع فى مركز الكون، اعتبر ميل الأجسام للسقوط على الأرض حالة من مبدأ عام بأن كل الأجسام لها "موضع طبيعى" فى الكون تتجه نحوه ، ونتيجة لذلك تتجه الأجسام المادية إلى أسفل ، فى حين يتجه الغازات ، نحو عالم أقل مادية ، ودرات العناصر " الأثيرية " ذاتها حول الأرض فى مسارات دائرية دقيقة ، لأنها تعتبر الحركة الصحيحة من الناحية الهندسية .

ومع رسوخ أفكار فلكية حديثة أخرى فى العصور الوسطى، تبين أن قوى الجاذبية لا يقتصر تأثيرها على الأرض بل تعمل بين الشمس والقمر والكواكب وكل الأجرام الفضائية. وأحد المظاهر المقنعة بهذه الحقيقة هو تفسير نيوتن لحركات المد والجذر فى المحيطات بفعل جاذبية القمر. وتضمن قانون التربيع العكسى **Inverse Square Law** على طبيعة الجاذبية "بعيدة المدى" . ومن خلال هذا القانون فأنه على الرغم من أن قوة الجاذبية تتضاءل مع البعد فإن تأثيرها يصل عبر الفضاء، ويستشعر بها على مدى بعيد. ولما كانت الجاذبية تربط أجزاء الكون بعضه البعض بكل ما تعنيه الكلمة ، فهى تحكم قبضتها على الكواكب فى مداراتها حول الشمس، وتجذب النجوم نحو المجرة، وتمنعها أيضا من الغليان حتى لا تتبخر فى خواء الفضاء. وفى الواقع ، تعتبر الجاذبية القوة السائدة على المستوى الفلكى .

وهناك سمة مهمة للجاذبية هى شموليتها، فلا يفلت أى شىء فى الكون من قبضتها. وبلغة الفيزيائى ، فإن كل جسيم خاضع للجاذبية، أو مرتبط بها . وحتى الطاقة تخضع للجاذبية. وبالمثل، فكل جسيم يعتبر مصدر للجاذبية. وعلاوة على ذلك، فإن القوة **Strength** التى تربط الجسيمات بالجاذبية واحدة، وهى حقيقة تتضمنها الملاحظة الشهيرة التى تعزى إلى جاليليو بأن كل الأجسام الساقطة تتساوى فى سقوطها بسرعة مهما كان وزنها أو تكوينها.

وقوة الجاذبية بين الجسيمات هى قوة جذابة دائما، حيث تعمل على جذب الجسيمات نحو بعضها. والجاذبية الطاردة ، أو نقيض الجاذبية **antigravity** ، كما يطلق عليها أحيانا، لم تلاحظ أبدا. والسبب فى ذلك مفهوم تماما ؛ فالطرد الجذبى يتطلب طاقة سالبة ، وبما أن الطاقة المختزنة فى جسيم هى طاقة موجبة دائما ،

معطية أياها كتلة موجبة، فستحاول الجسيمات دائما أن تتجاذب نحو بعضها البعض. وتبدو الطاقة السالبة غير مفهومة. ومع ذلك، فعلى الرغم من عدم احتواء الجسيمات على طاقة سالبة، فيمكن أن يحتوى المجال على طاقة سالبة، ويكون له نتائج عميقة الأثر سيكشف عنها الفصل الأخير.

ومن الأمور المثيرة للدهشة عن الجاذبية هو ضعفها المتناهى ، فقوة الجاذبية بين مكونات ذرة هيدروجين تصل 10^{-39} من القوة الكهربية. فإذا ارتبطت ذرة هيدروجين بالجاذبية بدلا من الكهربية، فسيكون أصغر مدار إلكترونى أكبر من الكون المرصود! وفى الواقع، إنه على مستوى الجسيمات الفردية دون الذرية، تبلغ الجاذبية من الضعف لدرجة أن الفيزيائيين يهملونها تماما. فلم تظهر الجاذبية فى أى عملية من عمليات معالجة الجسيمات، ولم يتم رصدها حتى الآن.

وحتى على مستوى الأشياء المرئية، لا يمكننا رؤية تأثيرات جاذبيتها ، فعندما نسير فى شارع تولد المبانى الكبيرة قوى جاذبية دقيقة ، لكنها من الضعف بحيث لا نشعر بها . ومع ذلك ، يمكن أن تستشعر الأجهزة الدقيقة هذه القوى. وفى أوائل عام 1774 ، لاحظ العالم الإسكتلندى سكوت نيفل ماسكلين Scot,Nevil Maskelyne انحراف دقيق لخيط ميزان استقامة البناء Plumb-line عن وضعه الرأسى ، حدث بسبب قوة جاذبية جبل قريب. وفى عام 1797 ، قام هنرى كافنديش [1] Henry Caven-dish بتجربة شهيرة قاس فيها بدقة شديدة قوة التجاذب بين كرتين صغيرتين متصلتين بطرفى قضيب خشبى معلق أفقيا، وكرتين كبيرتين من الرصاص. وكانت تلك هى المرة الأولى التى يتم فيها رصد قوة جاذبية بين جسمين فى المعمل .

وقد يبدو مدهشا أنه على رغم ضعف الجاذبية ، فكيف يمكن أن تكون القوة الكونية السائدة؟ وتكمن الإجابة فى شموليتها. ولما كان كل جسيم من المادة يتجاذب، وبصورة تجاذبية دائما ، فإن الجاذبية تتراكم كلما تعاظمت المادة أكثر فأكثر . وأنت تشعر بالجاذبية فى الحياة اليومية لأن كل ذرة فى الأرض تنجذب نحوك فى توافق . وتأثير أى إليكترون أو بروتون منفرد لا يكاد يحس تماما، لكنها عندما تتجاذب جميعا يصبح لها أثر محسوس. ولو كانت العديد من الجسيمات النقيضة تتجاذب مثل الجسيمات المتجاذبة، فسوف تميل إلى معادلة بعضها البعض ، وقوة الجاذبية – رغم أنها موجودة – فلا يمكن ملاحظتها بالمرة، وهى من الضعف بحيث لا يمكنها إظهار نفسها .

ولا يمكن نصف الجاذبية بصورة صحيحة إلا كمجال Field. ويمكننا تصور كل جسيم مصدرا لمجال تجاذبي ينبعث من الجسيم، تحيطه هالة من التأثيرات غير المرئية. ويشعر جسيم آخر مغمور في مجال جاذبي كهذا بالقوة . ومع ذلك، فالمجال مجرد وسيلة للكلام عن الجاذبية. وكما ذكرنا في الفصل الثاني ، يمكنه أن يدعم اضطرابات شبه الموجة. وكما اكتشف ماكسويل أن الموجات يمكن أن تنشأ في مجال كهرومغناطيسي وتنتقل خلال الفضاء، فقد وجد كذلك آينشتاين أن الموجات يمكن أن تنشأ في مجال تجاذبي .

وعلى الرغم من أن نظرية الجاذبية لنيوتن ظل معمول بها قرابة مائتي عام، إلا أنها أصبحت نكبة على الفيزياء الحديثة التي انفجرت في العقود الأولى من القرن العشرين. والاختلاف الذي دام لفترة طويلة في نظرية نيوتن يتعلق بمدار كوكب عطارد Mercury حول الشمس ، الذي لا يعتبر مداراً بيضاويا تماما. وينشأ انحراف بسيط في المدار بسبب اضطرابات جاذبية الكواكب الأخرى، ولكن عندما أخذ هذا التأثير في الاعتبار ظل هناك انحرافا بسيطا يقدر بثلاثة وأربعين ثانية قوسية لكل قرن، والتي لم تدخلها نظرية نيوتن في الحسبان.

والأهم من ذلك ، فقد اصطدم قانون الجاذبية لنيوتن مع نظرية النسبية الوليدة . ووفقا لنيوتن، تنتقل قوة الجاذبية بين جسمين لحظيا وفي الحال عبر الفضاء، لدرجة أن الشمس لو اختفت فجأة ، فسيتوقف مدار الأرض في الحال عن الانحناء ، حتى لو لم نر اختفاء الشمس طوال الثماني دقائق التي يستغرقها شعاع الشمس في الوصول إلينا. وتمنع نظرية النسبية لآينشتاين انتقال أي تأثير فيزيائي بصورة أسرع من الضوء، ويعتبر ذلك تناقضا واضحا لنظرية الجاذبية لنيوتن.

فقد كانت محاولة آينشتاين لتعميم نظرية النسبية لكي تتضمن الجاذبية هي التي قادته عام 1915 لوضع "نظريته العامة عن النسبية"، والتي لم تحل فقط محل معادلات الجاذبية لنيوتن، لكنها غيرت مفهومنا الكلي عن الجاذبية. ففي نظرية آينشتاين ، لا تعتبر الجاذبية في الحقيقة قوة على الإطلاق ، لكنها مظهر لتقوس ، أو التواء الفضاء – الزمن . فالأجسام لا تتخذ بفعل الجاذبية مدارات منحنية ، إنها تتبع مسار الخط المستقيم الأسهل ليس إلا . ووفقا لآينشتاين، فإن الجاذبية ما هي إلا شكلا هندسيا .

وظلت تطبق نظرية نيوتن على كل الأغراض العملية ، مثل ملاحة الطائرات ومركبات الفضاء، ولا تزال صالحة لوصف معظم النظم الفلكية. ومع ذلك، فقد تفشل عندما تتزايد شدة مجالات الجاذبية كما يحدث بالقرب من أجرام منهارة مثل النجوم النيوترونية أو الثقوب السوداء. وحتى بالنسبة للمجالات الجاذبية المعتدلة، فإنه يمكن تبين تأثير الفضاء -الزمن المنحنى . وعلى سبيل المثال، يعتبر انحراف مدار عطارد نتيجة لالتواء فضاء الشمس. وأيضا كما ذكرنا فى الفصل الثاني، يمكن الكشف عن التواء الزمن على سطح الأرض بواسطة آلة قياس زمن دقيقة .

3 - القوة الكهرومغناطيسية :

على الرغم من أن الجاذبية كانت أولى القوى التى تم فهمها بشكل علمى على الوجه الصحيح ، فقد عرف الناس الكهرومغناطيسية كذلك منذ زمن بعيد. فالقوى الكهربية تظهر بصورة ملفتة للانتباه أثناء ضربات الصواعق ، ويمكن رؤيتها أثناء حدوث البرق **Lightning** والظواهر الجوية المضيئة الأخرى. أما القوى المغناطيسية فهى المسئولة عن الأنماط المعقدة المرصودة عند ظهور الشفق القطبى **Aurora** .

ويرجع الفضل إلى الفيلسوف اليونانى تاليس لتعريفه المحدد للكهربية، فقد اكتشف أنه عند تدليك قطعة من الكهرمان **Amber** فإنها تكتسب القدرة على التقاط الأشياء الصغيرة. وتعنى كلمة إليكترون كهرمان باليونانية. وقد درس فيزيائى الملكة إليزابيث الأولى ويليام جلبرت [2] ، هذه الظاهرة الغريبة بصورة أعمق فى العصور الوسطى ، واكتشف أن العديد من المواد الأخرى تشترك فى خاصية الكهربية الموجودة فى الكهرمان. وأكدت الاختبارات الأخرى فى إنجلترا والقارة الأوربية حقيقة أن هناك مواد أخرى معينة تعمل كعوازل. واكتشف العالم الفرنسى تشارلس دوفاى **Charles Dufay** أن الشحنة الكهربية تظهر فى صورتين، نطلق عليها حاليا الشحنة الكهربية السالبة والشحنة الكهربية الموجبة .

وخلال القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر، تم استيعاب الكهربية بشكل مفصل بعد التجارب التى قام بها بنجامان فرانكلين [3] ومايكل فارادى ، فقد عرف أن الشحنات الكهربية المتشابهة تتنافر، بينما تتجاذب الشحنات الكهربية المتخالفة ، وفى كلتا الحالتين بقوة تحكمها صيغة رياضية بسيطة ، وهى أن القوى الكهربية تتضاءل مع البعد وفقا لعلاقة "التربيع العكسى" ، نفس الصيغة التى

استنتجها نيوتن من قبل للجاذبية. ومع ذلك، فالقوى الكهربية أكبر بدرجة هائلة من قوى الجاذبية. وفى مقابل قوى الجاذبية الضئيلة التى اكتشفها كافينديش بأجهزة خاصة، يمكن ملاحظة القوى الكهربية بين الأشياء اليومية المرتبة تبعا لأحجامها .

واقترحت أبحاث فارادى أن الكهربية موجودة فى الذرة ، لكنه لم يثبت وجود الإليكترون بصورة راسخة إلا عندما اكتشف جوزيف تومسون[4] "أشعة الكاثود" **Cathode Rays** فى تسعينيات القرن التاسع عشر . ونحن نعرف اليوم أن الشحنة الكهربية ترتبط بجسيمات المادة بشكل دقيق بمضاعفات وحدة أساسية ، وهى نوع من شحنة الذرة . ومع ذلك، لا تحمل جميع الجسيمات شحنة كهربية، فالفوتون والنيوترويينو على سبيل المثال، يعتبران جسيمان متعادلان كهربيا. وهنا تختلف الكهربية عن الجاذبية، فجميع جسيمات المادة ترتبط بمجال جاذبية ، فى حين ترتبط الجسيمات المشحونة بمجال كهرومغناطيسى .

وكما هو الحال مع الكهربية، فقد تعرف اليونانيون الأوائل أيضا على المغناطيسية منذ حوالى سنة **600** قبل الميلاد ، حيث عرفوا خصائص حجر المغناطيس (أكسيد الحديد المغناطيسى) **Lodestone**الذين وجدوا أنه يولد تأثيرا على بعضه بعضًا حتى عن بعد. وبعد خمسمائة عام أخرى، اكتشف الصينيون خصائص اتجاهية خادعة لحجر المغناطيس ، وأنشئوا شكلا بسيطا من أشكال البوصلة. ومع ذلك، فقد اقتصر استخدامها على أغراض خفية ، ومضت عدة قرون قبل أن تصبح البوصلة من الأدوات المستخدمة فى الملاحة .

ومع نهاية القرن السادس عشر، تعرف العلماء الأوربيون على الطبيعة الحقيقية للمغناطيسية. وأوضح جلبرت أن الأرض ذاتها تسلك سلوك المغنطيس بخصائص تشابه إلى حد كبير خصائص كرة من حجر مغناطيس نموذجى كان قد أنشأه. ووجد أن المغناطيسية أيضا تظهر فى صورتين، عرفا بالقطب الشمالى والقطب الجنوبى على اسم مغناطيسية الأرض. وكما هو الحال فى الكهربية، فإن الأقطاب المتشابهة تتنافر، بينما تتجاذب الأقطاب المخالفة . ومع ذلك، فعلى عكس الكهربية ، يبدو أن الأقطاب المغناطيسية توجد فى صورة أزواج، شمال وجنوب . وفى قضيب مغناطيسى نموذجى، يعمل أحد أطراف المغناطيس قطبا شماليا والطرف الآخر قطبا جنوبيا. وإذا قطع القضيب إلى نصفين، تظهر أقطاب جديدة عند موضع القطع

مغناطيسين يوجد لكل منهما قطب شمالي وجنوبي . ومهما حاول المرء، فلا يمكنه عزل قطب مغناطيسي واحد، أو أحادى القطب Monopole، بهذه الطريقة. أيمكن أن يمتنع وجود الأقطاب المغناطيسية المعزولة فى الطبيعة؟ فإذا كان الأمر كذلك، فما السبب فى ذلك ؟ سوف نرى أن دراسة للقوة العظمى تقدم إجابات لهذه الأسئلة المحيرة .

القوة بين الأقطاب المغناطيسية تخضع أيضا إلى قانون التربيع العكسى ، كما هو شأن الكهربية والجاذبية . وهكذا، فالقوى الكهربية والمغناطيسية "بعيدة المدى"، ويمكن إدراكها على مسافات كبيرة. وعلى سبيل المثال، يمتد المجال المغنطيسى للأرض لمسافة بعيدة فى الفضاء. وللشمس أيضا مجالا مغناطيسيا يسود المجموعة الشمسية كلها. وهناك أيضا مجال مغناطيسى للمجرة.

وفى بداية القرن التاسع عشر، ظهرت صلة قوية بين الكهربية والمغناطيسية. ففى الدانيمارك، اكتشف هانز كريستيان أورستيد Hans Christian Oersted أن المجال الكهربائى يولد مجالا مغناطيسيا حول نفسه، بينما أوضح فارادى أن تغيير المجال المغناطيسى يسبب سريان تيار كهربى . وشكلت هذه الاكتشافات الأساس للدينامو الكهربى ومولد الكهرباء ، اللذان توجد لهما تطبيقات عديدة فى مجال الهندسة .

وكما روينا فى الفصل الرابع، قام ماكسويل بالخطوة الحاسمة فى خمسينيات القرن التاسع عشر، عندما قام بتوحيد الكهربية والمغناطيسية فى نظرية واحدة للكهرومغناطيسية، وهى أول نظرية للمجال الموحد. ومع بعض التعديلات المناسبة التى أخذت فى الاعتبار، ظلت التأثيرات الكمية على نظرية ماكسويل سليمة وناجحة بشكل رائع حتى عام 1967 ، عندما حدثت الخطوة التالية العظيمة فى التوحيد.

4 - القوة النووية الضعيفة :

وعلى الرغم من أن القوة الضعيفة لم تقدر حق قدرها فى حينها، حيث شهدها الإنسان فى الواقع العملى منذ زمن يعود إلى عام 1054، عندما اكتشف فلكيون من الشرق ظهور مفاجئ لنجم لامع بدرجة شديدة فى منطقة من السماء لم يشهده أحد من قبل. فقد ظل النجم الضيف يحترق بصورة براقة لعدة أسابيع متحديا أكثر الكواكب لمعانا، قبل أن يخبو ببطء . ويعرف فلكيو العصر الحالى انفجار عام ١٠٥٤ ، بأنه انفجار لنجم سوبرنوفا supernova explosion ، أى التفكك العنيف لنجم عتيق

بسبب انهيار مفاجئ لقلبه، وتناثر مادته مع انطلاق قدر هائل من جسيمات النيوترينو ؛ ومن خلال القوة الضعيفة فقط ، تفجر هذه الجسيمات الطبقات الخارجية للنجم فى الفضاء ، وتحدث سحابة من الغازات المتمددة . وظل انفجار السوبرنوفا الذى حدث عام 1054 ، مرئيا فى صورة سديم ضبابى فى كوكبة الثور .Constellation of Taurus

وتقدم السوبرنوفات إحدى اللحظات القليلة التى تظهر فيها القوة الضعيفة نفسها بشكل جلى . وهى تعتبر إلى حد كبير من أضعف القوى بعد الجاذبية ، وفى العديد من النظم التى توجد فيها تكون تأثيراتها غارقة فى قوة كهرومغناطيسية أو القوة النووية الشديدة .

ولم يظهر وجود القوة الضعيفة إلا حثيثا فى المجتمع العلمي، فقد بدأت القصة فى عام 1896، عند اكتشاف هنرى بيكريل [5] Henri Becquerel النشاط الإشعاعى Radioactivity بالصدفة، عندما كان يفحص ضبابا غامضا على لوح فوتوجرافى كان قد تركه فى درج بالقرب من بلورات فوسفات اليورانيوم . وقام أرنسنت رزرفورد [6] بدراسة الانبعاثات الإشعاعية ، حيث أوضح أن نوعين متميزين من الجسيمات كانا ينبعثان من الذرات المشعة . وسمى هذين النوعين ألفا وبيتا. كانت جسيمات ألفا ثقيلة ومشحونة بشحنة موجبة ، والتى اتضح أنها نوى الهليوم سريعة الحركة. وظهر أن جسيمات بيتا من الإليكترونات عالية السرعة.

ولم يفهم نشاط بيتا الإشعاعى بشكل كامل إلا فى الثلاثينيات القرن العشرين ، وكانت العملية غريبة. فمن النظرة الأولى، اتضح أن أحد القوانين الأساسية فى الفيزياء، وهو قانون حفظ الطاقة ينتهك ، وبدا أن بعض الطاقة يفتقد . وقد خلص وولفجانج باولي Wolfgang Poauli إلى اقتراح وجود جسيم آخر- جسيم متعادل له قدرة كبيرة على الاختراق لم يكتشفه أحد من قبل - يخرج من الإليكترون. وسمى إنريكو فيرمى [7] Enrico Fermi الجسيم غير المرئى بـ" النيوترويينو " واتضح أنه جسيم مراوغ لدرجة أنه لم يكتشف بشكل واضح إلا فى الخمسينيات.

وكان الغموض لا يزال موجودا، فقد كانت الإليكترونات وجسيمات النيوترينو تنبعث من نوى غير مستقرة. غير أن الفيزيائيين كانت لديهم دلالة قوية بأنه لا توجد أى من هذه الجسيمات داخل النوى. وعلى ذلك فمن أين جاءت هذه الجسيمات ؟ اقترح

فيرمى أن الإليكترونات وجسيمات النيوترينو لم تكن موجودة قبل قذفها، لكنها نشأت بصورة لحظية بطريقة ما من الطاقة الموجودة فى النواة المشعة. وأوضحت نظرية الكم أنه يمكن فهم انبعاث وامتصاص الضوء على أنه خلق وإفناء للفوتونات، واقترح فيرمى أنه يمكن أن يحدث نفس الشيء للإلكترونات وجسيمات النيوترينو. وقد تم تأكيد هذا الاقتراح من سلوك جسيمات النيوترينو الحرة. فإذا ترك النيوترون حراً فإنه يتحلل خلال دقائق إلى جسيمات جديدة وهى البروتون والإليكترون والنيوترينو . وسرعان ما اتضح أن القوى المعروفة لا يمكنها أن تحلل النيوترون بهذه الطريقة. وكان على قوة أخرى أن تحث على انحلال بيتا - أى تحلل الإليكترون إلى نيوترينو. وقد أكدت القياسات التى أجريت على معدل هذا الانحلال أن القوة المعنية كانت ضعيفة بدرجة غير عادية، أكثر ضعفا من الكهرومغناطيسية(على الرغم من أنها لا تزال أكثر قوة من الجاذبية) . وفى النهاية اعترف بالحاجة إلى "قوة ضعيفة" جديدة.

ومع اكتشاف جسيمات دون نووية غير مستقرة، وجد الفيزيائيون أن القوة الضعيفة Weak Force هى المسئولة عن العديد من التحولات الأخرى. وفى الحقيقة ، ترتبط معظم الجسيمات المعروفة بالقوة الضعيفة . وبالنسبة لنيوترونو شبحى ، فإن تأثيره الضعيف (العيش بعيدا عن الجاذبية) هو الطريقة الوحيدة التى تظهر وجوده فى العالم .

تختلف ماهية القوة الضعيفة تماما عن قوى الجاذبية أو القوى الكهرومغناطيسية . أولا ، فهى لا تولد دفعا أو جذبا بالمعنى الهندسى ، فيما عدا حالات مثل انفجارات السوبرنوفا. وبدلا من ذلك ، فهى تقتصر على إجراء تحولات فى هوية الجسيمات ، التى غالبا ما تدفع الأشياء بسرعة عالية . ثانيا ، تقتصر أنشطة القوة الضعيفة على نطاق محدود جدا من الفضاء . وبالفعل، لم يصبح من الممكن قياس مدى القوة الضعيفة بشكل دقيق إلا فى أوائل ثمانينات القرن العشرين . ولفترة طويلة، بدا أن تأثيرها شبيه بالنقطة، إذ كان يشغل نطاق صغير جدا من الفضاء لا يمكن تمييزه. وبالمقارنة بطبيعة الجاذبية والكهرومغناطيسية البعيدة المدى، فإن القوة الضعيفة يصبح تأثيرها منعدما بعد حوالى 10^{-16} من السنتيمتر . ونتيجة لذلك لا يمكنها أن تؤثر على أشياء مرئية، بينما يقتصر تأثيرها على جسيمات فردية دون ذرية .

وعلى الرغم من أن نظرية القوة الضعيفة التى طورها فيرمى وآخرون فى الثلاثينيات كانت تتحسن بصورة مستمرة على مدى السنين، فقد ظلت هناك تناقضات عميقة، وبات من الواضح أن القوة الضعيفة لم تفهم على الوجه الصحيح . ووضعت نظرية جديدة بناء على أفكار فيرمى الأساسية ، لكنها أضافت بعض الملامح الجديدة المهمة التى استنبطها كل من ستيفن واينبرج **Steven Weinberg** فى أواخر الستينيات ، الذى كان يعمل فى ذلك الحين فى جامعة هارافارد، وعبدالسلام **Abdus Salam** من الكلية الملكية فى لندن. ومثلت هذه الخطوة التقدم الأكبر على طريق القوة العظمى منذ أن طور ماكسويل نظريته الكهرومغناطيسية، وسوف نتناولها بالشرح بشكل مفصل فى الفصل الثامن .

5 - القوة النووية الشديدة :

تكشَّف للفيزيائيين وجود قوة قوية عندما أصبحت بنية النواة الذرية واضحة . فكان لزاما على شيء ما أن يربط البروتونات ببعضها ضد الطرد الذى تسببه شحنتها الكهربية. وكانت الجاذبية على درجة من الضعف لتحقيق ذلك ، لذا كان من الواضح أن يوجد نوع جديد من القوة ، قوة قوية جدا، أكبر من الكهرومغناطيسية. ولا يمكن تمييز أثر هذه القوة الجاذبة النووية القوية خارج حدود النواة، لذا كان يجب أن تكون القوة الجديدة قصيرة المدى جدا. وفى الواقع، فإن تأثيرها يتلاشى بسرعة بعد مسافة 10^{-13} سنتيمترا داخل نوى البروتون أو النيوترون . ومن ثم ، فعلى الرغم من أنها أشد قوى الطبيعة الأربع ، فلا يمكن تمييز القوة الشديدة بشكل مباشر فى الأجسام المرئية .

وتخضع كلا من النيوترونات والبروتونات للقوة النووية الشديدة بينما لا تتأثر بها الإليكترونات. وبصفة عامة ، فإن الجسيمات الثقيلة فقط هى التى تتأثر بالقوة الشديدة . وتأثيرها يظهر كقوة "جذب" تقليدية تضم النواة إلى بعضها وأيضا ، مثل القوة الضعيفة، فى أنها تعمل على انحلال بعض الجسيمات غير المستقرة . وبسبب شدتها تعتبر القوة النووية الشديدة مصدراً عظيما للطاقة . وربما يكون المثال الأكثر أهمية للطاقة التى تتحرر بواسطة القوة الشديدة هو ضوء الشمس ، فقلب الشمس والنجوم الأخرى تعتبر مفاعلات اندماج بتأثير القوة النووية الشديدة ، وأن هذه القوة أيضا هى التى تحرر طاقة القنبلة النووية .

ولاقت المحاولات الأولى لفهم القوة النووية الشديدة نجاحًا محدوداً ، فلم يظهر أن وصفا رياضيا بسيطا كان مرضيا بما فيه الكفاية. ولم يبدو أن هناك أى تغيير للقوة مع المسافة، وبأية طريقة قويمة. وكان الفيزيائيون النوويون الذين حاولوا صياغتها مجبرين على إدخال العديد من العوامل الاعتبارية، وبدا الأمر وكأن هذه القوة خليط من مجموعة قوى مختلفة الخصائص .

وبينما كانوا يجاهدون فى حل هذا المشكلة ، ظهرت فى بداية الستينات نظرية الكوارك عن المادة النووية . وتؤكد هذه النظرية على أن النيوترونوات والبروتونات ليست جسيمات أولية ، بل أجسام مركبة تتكون من ثلاثة كواركات . ومن الواضح أنه كانت هناك حاجة لبعض أشكال القوة لربط الكواراكات فى ثلاثية ، وأصبح من الواضح وفقا لنظرية الكوارك، أن القوة الكلية بين النيترونات والبروتونات - داخل نوى الذرات - يجب أن تكون مجرد بقايا من القوة الشديدة التى تربط الكواركات معاً . ولم يتضح سبب ظهور القوة الشديدة بهذا التعقيد. فعندما يلتصق بروتون بنيوترون أو ببروتون آخر ، يتضمن الالتصاق ما مجموعه ستة كواركات، يتفاعل كل منها مع الأخريات. ويذهب معظم القوة لربط الكوارك معاً فى صورة مجموعات مكونة من كواركات ثلاثة ملتصقة معاً .

وبمجرد أن تم التعرف على طبيعتها الحقيقية كقوة بين الكواركات ، أصبحت القوة النووية الشديدة **Strong Force** أكثر بساطة لأن تمثل بصورة رياضية . وسوف نرى فى الفصول الأخيرة كيف يجعل هذا الوصف القوة النووية الشديدة قوة مساوية للقوى الأخرى ، ويحدد الطريق إلى وجود قوة عظمى موحدة .

الهوامــش

(1) هنرى كافندش (1731 - 1810) : كيميائى وفيزيائى بريطانى اكتشف الهيدروجين.

(2) ويليام جلبرت (1540 - 1603): طبيب وفيزيائى إنجليزى يلقب بأبى الكهرباء

(3) بنجامـان فرانكلـين (1706 - 1790) : سياسى وعـالم أمريكى قام بتجارب متعـددة فى حقل الكهرباء .

(4) السـير جوزيف جون تومسون (1856 - 1940) : فيزيائى بريطانى اكتشف الإليكـترون (عام 1897) .

(5) أنتوان هنرى بيكريل (1852 - 1908) : فيزيائى فرنسى منح جائزة نوبل فى الفيزياء (بالمشاركة) لعام 1903 .

(6) أرنست رذرفورد (1871 - 1937) : فيزيائى بريطانى منح جائزة نوبل فى الكيمياء لعام 1908 .

(7) انريكو فيـرمى (1901 - 1954) : فـيزيائى أمـريكى إيطالى المولد سـاعدت دراسـاته على صنــع القنبلة الذرية .

الفصل السادس

عالم الجسيمات داخل الذرة

1 - كشف أسرار قلب الذرة :

غالبا ما يقال أن هناك نوعان من العلم : علم كبير وعلم صغير، وتحطيم الذرة Atom-smashing علم كبير . فهـذا العلم يستخدم آلات كبيرة ، وينفق عليه ميزانيات ضخمة ، ويحصل على نصيب الأسد من جوائز نوبل .

لماذا يرغب الفيزيائيون فى تحطيم الذرات؟ والإجابة البسيطة - لاكتشاف ما بداخلها- إن بداخلها عنصر من الحقيقة ، غير أن هناك سبب آخر عام. فتحطيم الذرة هو فى الحقيقة اسم خاطئ ، والوصف الدقيق هو تصادم الجسيمات عالى الطاقة ، فعندما تتصادم Collision الجسيمات دون الذرية عند سرعة كبيرة، يفجر تأثير الصدمة عالماً جديداً من القوى والمجالات، وتحمل شظايا المادة المشبعة بالطاقة المنبعثة من هذه المصادمات أسرار عمل الطبيعة التى ظلت كامنة منذ بدء الخليقة ، وأخفيت فى الأغوار العميقة للذرة .

والآلات التى تحدث هذه التصادمات هى معجلات الجسيمات [1] particle accelerators، وهى آلات ضخمة الحجم باهظة التكاليف، وتقاس أبعادها بالأميال، وهى من الضخامة بحيث لا تضمها المعامل التى تبحث فيها التصادمات. ففى الأعمال العلمية الأخرى توجد الأجهزة داخل المعمل. وفى فيزياء الجسيمات عالية الطاقة، تلحق المعامل بالأجهزة. وفى الآونة الأخيرة، عكف مركز الأبحاث النووية الأوربية (Centre for European Nuclear Research) الموجود بالقرب من جنيف ، على إنشاء آلة على شكل حلقة تقدر تكلفتها بعدة مئات الملايين من الدولارات ، لوضعها فى نفق دائرى يبلغ طول محيطه سبعة وعشرين كيلومترا . وقد صممت الحلقة المسماة LEP، وهى اختصار عبارة "دائرة المسماة الإليكترون / البوزيترون الكبيرة large electron-positron ring) من أجل تعجيل الإليكترونات وجسيماتها النقيضة (البوزيترونات) داخل نفق لتدور بسرعة الضوء. ولكى تتصور الطاقة الهائلة المستخدمة، تخيل أنه بدلا من الإليكترونات

يجرى تعجيل قطعة من العملة المعدنية. وفى نهاية الدوران، ستكون للعملة قدر كاف من الطاقة لتوليد كهرباء تصل قيمتها مائة مليون مليون دولار! والأعجب من هذا أن هذه النوعية من الأعمال يشار إليها بفيزياء "الطاقات العالية [2] high-energy physics وعندما تنتقل حزم الإليكترونات والبوزيترونات فى اتجاهات متقابلة حول الحلقة، يسمح لها بالتصادم وجها لوجه، ويفنى بعضها البعض وتنطلق طاقة ضخمة تتجسد فى شكل عشرات من الجسيمات الأخرى .

ما طبيعة هذه الجسيمات ؟ البعض منها مكونات تستخدم فى بناء جسمك وجسمى وهى البروتونات والنيوترونات الموجودة فى النوى الذرية ، والإليكترونات التى تدور من حولها. والبعض الآخر لا يوجد فى الحالة الطبيعية للمادة ، فهى لا توجد إلا فى حالات سريعة الزوال قبل أن تتحلل إلى صور عادية جدا . وعدد الأنواع المختلفة من هذه الجسيمات غير المستقرة والسريعة الزوال كبير جدا . فقد صنف منها حتى الآن عدة مئات . ومثل النجوم ، فالجسيمات غير المستقرة عديدة جدا الأمر الذى لا يمكن منحها أسماء ، والعديد منها تسمى بحروف يونانية فقط ، والبعض الآخر بالأرقام .

ومن المهم أن نعرف أن هذه الجسيمات العديدة المختلفة غير المستقرة ليست بأى معنى بسيط ، مكونات البروتونات ، أو النيوترونات ، أو الإليكترونات. وعندما تتصادم الإليكترونات والبوزيترونات فى وجود طاقة عالية، فإنها لا "تنفلق" وينسكب منها زخم من الحطام دون الذرى . وحتى التصادمات عالية السرعة التى تتضمن على بروتونات ، والتى يوجد بداخلها من غير شك جسيمات أخرى (كواركات) ، لا تتحطم إلى أجزاء بالطريقة المعتادة. ومن الأفضل تصور الحطام الناتج من هذه التصادمات على أنه تجسد فورى من طاقة الاصطدام .

منذ عشرين عاما مضت انتاب الفيزيائيون شعور بالحيرة من عدد وتنوع الجسيمات دون الذرية التى يجرى اكتشافها ، فيما يظهر أنه سلسلة متوالية لا نهائية. وقد تساءلوا لما كل هذا العدد الضخم من هذه الجسيمات. هل هى ببساطة مثل الحيوانات فى حديقة حيوان، ذات تشابهات عائلية غامضة، بينما لا توجد بينها علاقات نظامية ؟ أو هل هى كما يعتقد المتفائلون، المدخل إلى الكون؟ هل ينتج الجسيم المادى مجرد شظيات عشوائية عديمة الأهمية من المادة. وهل هناك نظام متصور بصورة

مبهمة ، يشير من طرف خفى إلى تركيب وفير ومتقن من العالم دون النووى ؟ واليوم ، لم يعد هناك أدنى شك فى وجود نظام عميق الدلالة فى الأكوان الصغرى ، وعلى الرغم من أننا لم نستطع حتى الآن أن نلمح هذا النظام إلا بشكل مجمل، فقد بدأنا ندرك ماذا تعنى كل هذه الجسيمات.

وجاءت الخطوة الأولى لهذه المعرفة من تصنيف تنظيمى بسيط يشبه التصنيف الذى قام به علماء البيولوجيا فى القرن الثامن عشر حينما صنفوا أنواع الحيوانات والنباتات. والصفات الأساسية للجسيمات دون الذرية هي: الكتلة **mass**، والشحنة الكهربية **charge** ، واللف **spin** .

وتشبه الكتلة تقريبا الوزن **weight** وغالبا ما يشار إلى الجسيمات ذات الكتل الكبيرة بالجسيمات "الثقيلة". وتخبرنا معادلة آينشتاين **E=mc2** أن كتلة جسيم تتوقف على طاقته، ومن ثم على سرعته. ويزداد ثقل الجسيم عند الحركة السريعة أكثر مما يكون فى وضع السكون . والكتلة التى تهمنا هى كتلة السكون **Rest-mass** ، لأنها لا تتغير . فإذا كان لجسيم كتلة سكون صفر ، فإنه ينتقل بسرعة الضوء . والفوتون [3] **photon** هو أحد الأمثلة الواضحة على جسيم كتلة سكونه صفر. والإليكترون من الجسيمات التى ليست لها كتلة سكون صفر، ويعتقد أنه أخفها . وللبروتون والنيوترون كتلة أثقل **2000** مرة من كتلة الإليكترون ، فى حين أن جسيمات المجموعة " **Z** " تعتبر أثقل الجسيمات التى أنتجتها المعامل حتى الآن ، وهى أثقل من كتلة الإليكترون بحوالى **200000** مرة .

والشحنة الكهربائية ليست لها قيمة فى عملية التقييم ، فكما رأينا ، هناك دائما مضاعفات ثابتة لوحدة أساسية. وبعض الجسيمات مثل الفوتون أو النيوترونو ليست لها شحنة كهربية . وإذا حدد البروتون المشحون بشحنة كهربية موجبة بوحدة **1 +** ، فستكون للإليكترون بالضبط وحدة **1−** .

ناقشنا فى الفصل الثانى موضوع اللف ، وهو يأتى أيضا دائما بمضاعفات ثابتة من وحدة أساسية، والتى لأسباب تاريخية اعتبر أن ه لفا يساوى **1/2** وعلى ذلك، فإن لف البروتون والنيوترون والإليكترون = **1/2** ، وللفوتون لف يساوى **1** . وتعرف الجسيمات أيضا بأن لها لف صفر، و **2/3** ، و **2**. وليس هناك جسيم أساسى له لف أكبر من **2** ، ويعتقد الباحثون استحالة وجود هذا الكيان .

ويعتبر لف جسيم محدداً جوهرياً لطبيعته، وتقع جميع الجسيمات فى واحد من اثنين من الترتيب المحدد تماما . وتلك الجسيمات ذات اللف التام أو المتكامل " صفر ،أو 1 ،أو 2 " تسمى "بوزونات" Boson على اسم الفيزيائى الهندى ساتيندرا بوز Satyendra Bose ، بينما يطلق على الجسيمات ذات الكسور الاعتيادية (تلك التى لها لف 1/2 أو 2/3) فيرميونات Fermion، على اسم إنريكو فيرمى .

وهناك ترتيب مهم آخر هو عمر الجسيم ، فقد كان من المعتقد حتى زمن قريب أن الإليكترونات، والبروتونات، والفوتونات، والنيوترينو جسيمات مستقرة تماما، أى أن لها عمر لانهائى . ويمكن أن يظل النيوترون مستقرا عندما يحتجز فى نواة، فى حين ينحل نيوترون آخر فى غضون 15 دقيقة . وجميع الجسيمات الأخرى المعروفة تعتبر جسيمات غير مستقرة إلى حد كبير ، إذ تتراوح أعمارها من الميكروثانية إلى 10^{-23} جزءا من الثانية . فإذا بدت هذه الأعمار قصيرة للغاية ، فتذكر أن جسيما ينتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء(والتى تنتجها معظم المعجلات) يمكن أن يقطع 300 مترًا فى الميكروثانية الواحدة – أى جزء من المليون من الثانية .

والجسيمات التى تتحلل تفعل ذلك بتأثير العمليات الكمية. وعلى ذلك فهناك دائما عنصراً متضمناً من عدم التوقع، فلا يمكن معرفة عمر جسيم معين، والشيء الذى يمكن قوله هو العمر المتوسط على أساس إحصائي. وعادة ما يمثل بعمر النصف (4) Half-Life لجسيم، وهو الزمن المطلوب الذى تستنزف خلاله مجموعة من الجسيمات المتماثلة إلى النصف. وتوضح التجربة أن الهبوط فى مجموعة الجسيمات يكون هبوطا أسيا (انظر شكل 6 الفصل الرابع) ، التى يكون لها "عمر نصف " 0.693 مرة متوسط العمر .

ولا يكفى أن نعرف أن جسيما موجود، فالفيزيائيون يريدون أن يعرفوا أيضا ما الذى يفعله . وهذا يتحدد إلى حد ما من خلال الكميات المدونة بعاليه ، فى حين يتحدد أيضا بواسطة نوع القوى التى تؤثر عليه والموجودة داخله. والعامل الذى يحدد قبل كل شيء آخر خصائص جسيم هو ما إذا كان يشعر بالقوة النووية الشديدة أم لا ، حيث تصنف الجسيمات التى تشارك فى القوى الشديدة فى فئة منفصلة، وتعرف باسم الهادرونات(5) والجسيمات الأخرى التى تشعر بالقوة الضعيفة ولا تشعر بالقوة الشديدة تسمى لبتونات (6) Lepton ، التى تعنى "الشيء الخفيف". وسوف نتناولها بشيء من التفصيل .

2 - جسيمات اللبتون الخفيفة:

يعد الإليكترون من أفضل اللبتونات المعروفة ، ومثل جميع اللبتونات ، يبدو أنه جسيم أولي شبيه بالنقطة. وعلى قدر معلوماتنا، فالإليكترون ليس له بناء داخليا ، أي أنه لا يتألف من أي شيء . وعلى الرغم من أن اللبتونات تظهر إما بشحنة كهربية أو بدونها، فلها جميعا لف 1/2، ولذا فجميعها فرميونات.

والنيوترينو من اللبتونات الأخرى المعروفة ، وهو هذه المرة من نوع عديم الشحنة ، وكما شرحنا في الفصل الثاني ، فإن جسيمات النيوترينو من الأشياء المراوغة لدرجة أنها تظهر كشبح. ولما كانت لا تشعر بكل من القوة الشديدة ولا القوة الكهرومغناطيسية، فهي تتجاهل المادة تماما، وتمر خلالها كما لو كانت غير موجودة . ومن الناحية التاريخية ، فقد أدى هذا إلى صعوبة التحقق من وجودها . فقد مضى أكثر من ثلاثة عقود قبل أن يتوقع وجود النيوترينو لأول مرة، حتى تم في النهاية اكتشافها في المعمل. وكان على الفيزيائيين الانتظار حتى مقدم المفاعلات النووية Nucle-ar Reactor التي تطلق كميات هائلة من النيوترينو قبل أن يتمكنوا من توقيف إحداها في تصادم مباشر مع نواة. ويمكن حاليا إجراء تجارب أكثر إتقانا بواسطة حزم منظمة من النيوترينو التي تنتجها الجسيمات المتحللة في معجل. وتتجاهل الغالبية العظمى من النيوترينو الهدف تماما ، غير أن النيوترينو المناسب يمكن دفعه للتفاعل ، ويعطي معلومات مفيدة عن بنية الجسيمات الأخرى، وطبيعة القوة الضعيفة. وبطبيعة الحال ، لا تتطلب التجارب التي تجري على النيوترينو، على عكس كل الجسيمات الأخرى دون الذرية أية وقاية حامية، فقوة اختراقها من الضخامة بحيث أنها ليست ضارة بالمرة ، وتمر داخلك دون أن تحدث أدنى ضرر يذكر.

وعلى الرغم من عدم إدراك النيوترينو بالحواس ، إلا أنه يتمتع بوضع لا يتوفر لأي من الجسيمات الأخرى المعروفة ، لأن هذه الجسيمات هي الأكثر انتشارا في الكون ، وتفوق الإليكترونات أو البروتونات عددا بنسبة ألف مليون إلى واحد. وفي الواقع ، فالكون في الحقيقة بحر من جسيمات النيوترينو لا يقطعها إلا في النادر شوائب مثل الذرات. وربما يكون من الممكن أن تفوق جسيمات النيوترينو

مجتمعة النجوم وزنا، ولهذا السبب تسيطر على جاذبية الكون. ويشير تقرير لمجموعة من العلماء الروس أن جسيمات النيوترينو لها كتلة دقيقة ، أقل من جزء من عشرة آلاف من كتلة الإليكترون، لكنها تكفى - إذا كان هذا صحيحا - أن تقهر الكون بالجاذبية، وتؤدى إلى انهياره فى المستقبل . ولهذا السبب، فعلى الرغم من أنها ظاهريا من الجسيمات الأقل ضررا وسريعة الزوال ، فيمكن للنيوترينو البسيط أن يفنى الكون تماما.

والميون [7] هو أحد اللبتونات الباقية، اكتشف عام 1936 من بين نواتج الأشعة الكونية **Cosmic Rays** ، وكان من أوائل الجسيمات دون الذرية غير المستقرة المعروفة. وفى كل الوجوه، بخلاف الاستقرار، يشبه الميون الأخ الأكبر للإليكترون ؛ له نفس الشحنة واللف والاستجابة للقوى ، غير أن كتلته أكبر كثيرا. إذ أنه يتحلل فى غضون ثانيتان إلى إليكترون واثنان من النيوترينو . والميونات هى بالفعل الجسيمات الشائعة فى الطبيعة، وسبب معظم خلفية إشعاع الكون ، التى يمكن اكتشافها على سطح الأرض بواسطة عداد جايجر [8]

وظل الإليكترون والميون طوال سنوات عديدة اللبتونات الوحيدة المشحونة المعروفة ، ثم اكتشف فى أواخر السبعينات لبتونا ثالثا، سمى تايون **Tauon**. والتايون الذى تصل كتلته **3500** مرة كتلة الإليكترون ، هو بالقطع الوزن الثقيل من اللبتونات الثلاثة المشحونة ، وعلاوة على كتلته فإنه يسلك مسلك الإليكترون أو الميون.

ولا يستنفد هذا قائمة اللبتونات المعروفة. ففى الستينيات، اكتشف أنه يوجد بالفعل أكثر من نوع واحد من النيوترينو. أولا، هناك النوع الذى يوجد مع الإليكترون عندما يتحلل نيوترون ، ثم هناك نوع آخر يظهر عندما يوجد الميون. ويمضى كل نوع من النيوترينو جنبا إلى جنب مع لبتونه المشحون ؛ ومن ثم فهناك الإليكترون - نيوترونو **Electron-Neutrino**، والميون - نيوترينو **.Muon- Neutrino** ويبدو من المحتم أن يكون هناك نوع ثالث من النيوترينو مع التايون ، وبذلك يكون هناك ما مجموعه ثلاثة أنواع مختلفة من النيوترينو ، ومجموع كلى ستة لبتونات (انظر جدول **1**) . وبالطبع فلكل نوع من اللبتونات جسيمه النقيض أيضا ، حيث يصبح مجموعها أثنى عشر لبتونا مختلفة معا .

جدول (1)

الاسم	الرمز	الكتله	الشحنة
اليكترون	e -	1	-1
ميون	U -	206.7	-1
تايون	t -	3536	-1
إليكترون – نيوترون	ve	0	0
ميون – نيوترونو	vu	0	0
تايون – نيوترونو	vt	0	0

توجد اللبتونات الستة فى أنواع مشحونة ومتعادلة (الجسيمات النقيضة غير متضمنة) . ويعبر عن الكتلة والشحنة بوحدات كتلة الإليكترون وشحنته . وهناك إحدى الدلائل على أن النيوترينو قد تكون له كتلة صغيرة .

3 - جسيمات الهادرونات الثقيلة :

فى مقابل اللبتونات القليلة المعروفة ، هناك المئات من الهادرونات . وتشير هذه الحقيقة بمفردها إلى أن الهادرونات لا تعتبر جسيمات أولية ، لكنها تتكون من جسيمات أصغر. وجميع الهادرونات تتأثر بالقوة الضعيفة والقوة الشديدة والجاذبية ، لكنها تأتى فى صورة أنواع مشحونة ومتعادلة. ومن أكثرها شيوعا النيوترون والبروتون . وجميع الجسيمات الأخرى ذات أعمار قصيرة جدا ، وتتحلل

إمـا فى أقل من واحـد فى المليـون من الثـانيـة تحت تـأثيـر القـوة الضـعـيفـة ، أو تتـحلل بصــورة أسـرع (10^{-23}) من الثـانيـة فى الحـالة النمـوذجيـة) تحت تـأثيـر القوة الشـديدة _ Strong Force .

وفى الخمسينات، كان الفيزيائيون متحيرين تماما بسبب عدد وتنوع الهادرونات. وبدأوا شيئا فشيئا فى تنظيم البيانات بطريقة مفهومة تبعا للصفات الحياتية لكتل الجسيمات، وشحنتها، ولفها. وببطء بدأ يبرز مظهر خارجى ؛ أصبحت الأنماط واضحة. فقد توجد سمات متشابهة تحت سطح فوضى البيانات. وجاءت الخطوة الحاسمة فى الكشف عن غموض الهادرونات عام 1963 ، عندما ابتكر موراى جيل مان **Murray Gell-Mann** وجورج زڤايج **George Zweig** من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا " كالتيك " نظرية الكوارك **quark theory** .

والفكرة الأساسية بسيطة تماما ، حيث يوجد داخل جميع الهادرونات جسيمات أصغر تسمى كواركات [9] وتنص القوانين على أنه يسمح للكواركات بالالتصاق بإحدى الطريقتين المكنتين، إما فى صورة ثلاثيات أو فى صورة أزواج من الكوارك والكوارك النقيض . ومن الواضح أن مجموعات من ثلاثة تنتج جسيمات أثقل ، وهى تلك التى يطلق عليها باريونات **baryons** ، وتعنى الأنواع الثقيلة. ومن أفضل الباريونات المعروفة ، النيوترون والبروتون. وأزواج الكوارك والكوراك النقيض أخف بعض الشىء ، وتصنع الجسيمات المعروفة بالميزونات **mesons** وجاء الاسم من حقيقة أن الميزونات الأولى كانت لها كتلة متوسطة ما بين الإليكترونات والبروتونات. ولتفسير كل الهادرونات المعروفة فى ذلك الحين، أدخل جيل مان **Gell-Mann** وزڤايج **Zweing** ثلاثة أنواع متميزة أو نكهات **Flavours** الكوارك، ذات أشكال غريبة الأطوار: "أعلى **UP** " و"أسفل **Down** " و"غريب **Strange** ". وفسرت التوليفات العديدة من هذه النكهات حينذاك وجود العديد من أنواع الهادرونات المختلفة. وعلى ذلك ، يتكون البروتون من كواركين "أعلى " و"أسفل "، بينما يتكون النيوترون من "أسفل" و" أعلى " (انظر شكل **10**) .

ولكى ينجح النظام بالشكل الصحيح ، فمن الضرورى افتراض أن الكواركات تحمل شحنات كهربية جزئية . أى يكون لها كمية من الشحنة ، إما أن تكون **1/3** أو **2/3** من قيمة الوحدة الأساسية التى يحملها الإليكترون . وبهذه الطريقة فإن مجموع كل من الاثنين أو الثلاثة كواركات يمكن أن يشكل شحنة

صافية إما صفر أو واحد. وجميع الكواركات لها لف 1/2 ، وعلى ذلك تعتبر فيرميونات Fermion. وكتل الكواركات ليست محددة تماما مثل الجسيمات الأخرى ، لأن طاقة الربط أو اللصق التى تضمها فى الهادرونات تنافس كتل الكواركات ذاتها . وعلى الرغم من هذا، فمن المعروف أن الكوارك "غريب" أثقل بعض الشىء من الكوارك " أعلى " والكوارك " أسفل ".

وحالة – الكواركات تشبه كثيرا حالات الإثارة لذرة ، لكنها أكثر نشاطا بدرجة كبيرة ، فالطاقة الزائدة التى يحملها الهادرون المثار تسهم فى الكتلة الإضافية لدرجة أنه قبل الاعتراف بنظرية الكوارك اعتقد الفيزيائيون خطأ أنهم يتعاملون مع جسيمات متميزة تماما. والآن، فمن المعروف أن العديد من الهادرونات المختلفة ظاهريا ما هى إلا حالات مستثارة من نفس مجموعة الكواركات الأساسية .

وكما شرحنا فى الفصل الخامس، فإن الكواركات تلتصق بشدة بواسطة القوة الشديدة ، لكنها تتأثر أيضا بالقوة الضعيفة . وعندما تؤثر القوة الضعيفة على كوارك فمن الممكن أن تغير نكهته أو نوعه. وهذا هو جوهر تحلل النيوترون. ويتحول أحد الكواركات " أسفل " فى النيوترون إلى كوارك " أعلى " ، أما الشحنة الزائدة فيحملها بعيدا الإليكترون الذى يتجسد فى الحال " من هذه الطاقة ". ويحدث الانحلال فى الهادرونات الأخرى بتغيير النكهة أو النوع ، أو بالتفاعل الضعيف .

ووجود الكوارك " غريب " مطلوب لبناء مجموعة تسمى بالجسيمات " الغريبة "، وهى الهادرونات الثقيلة التى اكتشفت فى أوائل الخمسينيات . وكان السلوك الغريب الذى حفز على اسمها هو أن هذه الجسيمات تبدو غير قادرة على التحلل بالقوة الشديدة ، على الرغم من أنها هى ومنتجاتها هادرونات. وكان الفيزيائيون متحيرون، إن كانت جميع الجسيمات ستظل فى عائلة الهادرونات، فإن القوة الشديدة ستمنعها من التحلل . ولبعض الأسباب اضطرت هذه الهادرونات إلى اللجوء إلى القوة الضعيفة الأكثر بطئا. لماذا ؟ فسرت نظرية الكوارك هذا اللغز بصورة طبيعية. لا تستطيع القوة الشديدة أن تغير نكهة الكواركات ؛ ولا يمكن أن يقوم بهذا إلا القوة الضعيفة . ولا يمكن أن يحدث تحلل بدون تغير النكهة لتحويل الكوارك الغريب إلى كوارك أعلى أو أسفل .

يتضمن جدول 2 على مجموعات الكواركات المحتملة العديدة ذات ثلاث نكهات ويعطى الأسماء (التى تقتصر عادة على حرف يونانى) المصاحبة لكل منها . ولم تدون حالات الإثارة العديدة. وحقيقة أن التعديلات العديدة لثلاثة جسيمات أساسية

يمكـن أن تفسـر كـل الهـادرونات المعروفة كان انتصارا كبيرا للنظرية . وعلى الرغم من هذا النجـاح، فـقـد مـضـت بضع سـنوات قـبـل ظـهـور دلالة مـادية مبـاشـرة على وجود الكواركات .

جدول (2)

مجموعة الكوارك	الاســم	الرمــز	بالإنجليزية
أعلى / أعلى / أسفل	بروتون	P	Proton
أعلى / أسفل / أسفل	نيرترون	n	Neutnon
أعلى / أسفل / غريب	سيجما متعادلة	Σ 0	Neutial Sigma
أسفل / أسفل / غريب	سيجما سالبة	Σ -	Negative Sigma
أعلى / أعلى / غريب	سيجما موجبة	Σ +	Positive Sigma
أعلى / غريب / غريب	كاى متعادل	O	Nuetral chi
أسفل / غريب / غريب	كاى سالب	-	Negative chi
أعلى / أسفل / غريب	لامبدا	A	Lambda
أعلى / أسفل نقيض	پايون موجب	π +	Positive pion
أسفل / أعلى نقيض	پايون سالب	π -	Negative pionm
أسفل / غريب نقيض	كايون متعادل	K O	Neutial Kaon
أعلى غريب نقيض	كايون موجب	K +	Positive Kaon
غريب / أعلى نقيض	كايون سالب	K -	Negative Kaon
غريب / أسفل نقيض	نقيض كايون متعادل	K O	Neutral Anti Kaon

نكهات الكوارك الثلاث أعلى ، وأسفل ، وغريب لها شحنات $\frac{2}{3}+$، و $\frac{1}{3}-$ ، و $\frac{1}{3}-$ على التوالي . وتتحد فى ثلاثات لتكون ثمانية باريونات بالأسماء الموضحة. وتتحد أزواج الكوارك والكواركات النقيضة لتكوين الميزونات.

وفى عام 1969 ، وخلال سلسلة من تجارب هامة أجريت فى المعجل الطولى الضخم فى ستانفورد بكاليفورنيا (SLAC) ، تم الحصول على هذا التأكيد. وتوصلت تجارب ستانفورد إلى أنه إذا كانت هناك كواركات داخل البروتونات ، فمن الممكن اختراق البروتون ومواجهة هذه الجسيمات وجها لوجه. وكل ما كان مطلوباً "قذيفة" دون نووية يمكن إطلاقها داخل البروتون. واستخدام هادرون آخر يعد بلا فائدة لأنه سيكون فى مثل حجم البروتون نفسه. والقذيفة النموذجية هى لبتون مثل الإليكترون. ولما كان الإليكترون لا يتأثر بالقوة الشديدة فإنه لن يلتصق بقوة اللصق التى تربط الكواركات بعضها البعض. ومن ناحية أخرى، فلا يزال يمكنه استشعار وجود الكواركات من خلال شحناتها الكهربية.

وتضمنت تجربة ستانفورد أساسا على استخدام معجل طوله ثلاثة كيلومترات يعمل كميكروسكوب إليكترونى عملاق ، لتكوين تصور عما بداخل البروتون . وفى ميكروسكوب تقليدى إليكترونى ، يمكن تمييز سمات أقل من واحد من المليون من السنتيمتر. ومع ذلك، فإن البروتون أقل بعشرة ملايين مرة من هذا الحجم، ولا يمكن جس داخله إلا من خلال تنشيط الإليكترونات بما يقدر بـ 2×10^{10} فولت. وأثناء إجراء تجارب ستانفورد، وافق بعض الفيزيائيين على فكرة نظرية الكوارك البسيطة. فقد توقعوا من غير شك أن تنحرف الإليكترونات بواسطة الشحنات الكهربية للبروتونات ، لكنهم افترضوا أن هذه الشحنة كانت موزعة بشكل متساوٍ داخل البروتون. فإذا كان الأمر كذلك ، فسيكون نمط الإليكترون المبعثر " لينا" ، أى أن الإليكترونات لن تنحرف بصورة عنيفة أثناء مرورها داخل البروتونات. ولكن الذى حدث كان مختلفا تماما عن هذا النمط. فقد بدا الأمر وكأن بعض الإليكترونات تضرب ضربا عنيفا كتلا صلبة من المعدن ، والتى جعلتها ترتد للخارج بزوايا عشوائية. ونحن نعلم الآن أن هذه الكتل الصلبة داخل البروتونات هى الكواركات .

فى عام 1974 ، تلقى التصور البسيط لنظرية الكوارك، والذى حظى فى ذلك الحين بتأييد قوى بين الباحثين ،صفعة حادة. فخلال بضعة أيام، أعلن كل فريق من الفريقين الآخرين من الفيزيائيين الأمريكيين، أحدهما فى ستانفورد بقيادة بورتون ريختر Bur-ton Richter والآخر فى معمل بروكهافين القومية بقيادة ساموبل تنج Samuel Ting، عن اكتشاف هادرون جديد ،أطلق عليه اسم بساى (psi) . وهذا فى حد ذاته لا يحتمل أن يكون جديدا، غير أن مشكلة نظرية الكواركات هى أنها لا توجد متسعاً لمزيد من الجسيمات. فكل المجموعة المحتملة من الكواركات: " أعلى وأسفل وغريب" وكواركاتها النقيضة لها ما يبررها فعلا. فمم يتكون الجسيم الجديد بساى ؟

وجدت المشكلة حلا باللجوء إلى فكرة ظلت تشغل الفكر فترة من الزمن . فلابد وأن كانت هناك نكهة كوارك رابع ، والتى لم يراها أحد حتى ذلك الحين. وسميت النكهة الجديدة فعلا باسم "ساحر" Charm لابد أن هناك خطأ، فجسيم بساى Psi من الباريونات مكون من ثلاث كواركات وليس أثنين مثل الميزونات. وكتلته ٦١٠٠ وهو متعادل الشحنة.

وحدث تطور جديد فى هذه الأحداث البارزة عام 1977 ، عندما ظهر إلى مسرح الأحداث جسيم جديد أطلق عليه اسم أبسيلون .upsilon وفى هذه المرة كان هناك بعض التردد فى استحضار نكهة كوراك خامس أطلق عليه اسم قاع Bottom ، وأحيانا يعرف باسم جمال Beauty ويتساوى النمو التدريجي فى قائمة نكهات الكواركات المعروفة مع اللبتونات العديدة ، والسؤال الذى يبرز بوضوح هو إلى أين تنتهى جميعا. وكان من المفترض أن تبسط نظرية الكوارك معرفتنا بعالم الهادرونات ، ومع ذلك فهناك معنى واضح للتكاثر مرة أخرى .

ومنذ زمن ديموكريتس فصاعدا ، كانت الفلسفة الأساسية للمذهب الذرى atomism هى أنه يوجد على المقياس المصغر نوع من الجسيمات الأولية تنشأ منها كل المادة بالإجمال . والشيء الملفت فى هذه النظرية هو أن الجسيمات الأساسية ، التى تعتبر غير مرئية، تتطلب أن تظهر فى عدد قليل من الأنوا ع. وتعقد المادة يفسر حينئذ على أنه نشوء ، ليس من تضاعف المكونات ، ولكن من تضاعف المجموعات . وعندما اكتشف وجود عشرات الأنوية الذرية المختلفة ، تبدد الأمل فى أن ما نسميه اليوم بالذرات كان ما يعينه اليونانيين بالجسيمات الأولية للمادة . وعلى الرغم من

أننا لأسباب تاريخية نتحدث عن "العناصر الكيميائية " المختلفة، فإن الذرات حاليا تعرف بأنها ليست أولية على الإطلاق، لكنها تتألف من بروتونات ونيوترونات وإليكترونات. وإذا كان عدد الكواركات يزداد حاليا بدرجة كبيرة، فسوف يكون هناك ميل لافتراض أنها أيضا يجب أن تكون أجساماً مؤلفة من جسيمات أصغر .

وعندما يظهر شيء من عدم الرضا عن نظام الكواركات لهذا السبب، فإن معظم الفيزيائيين يعتقدون أن الكواركات هى بالفعل جسيمات أولية، لكونها شبيهة بالنقط وليست قابلة للانقسام ، وليس لها تركيب داخلي. وفى هذا الخصوص فهى تشبه اللبتونات، وقد افترض منذ مدة طويلة ضرورة وجود صلة قوية بين هاتين الرتبتين المتميزتين ، أشبه ما يكون بتأسيس عائلات . ويمكن تبين اقتراحات الصلة إذا ما ظهرت اللبتونات والكواركات كما هو مبين بجدول 3 وقد تم تجميع اللبتونات مع بعضها فى صورة أزواج، وكل لبتون مشحون يتفق مع نيوترويتو مصاحب له . وبالمثل فقد تم تجميع الكواركات فى صورة أزواج . وقد رتب الجدول بحيث يمثل كل مستوى تكراراً للمستوى الذى قبله. وهكذا ، ففى المستوى 2 على سبيل المثال، يعامل الميون **muon** على أنه إليكترون "ثقيل"، بينما تعتبر الكواركات " غريب وساحر " صوراً ثقيلة من الكواركات أسفل وأعلى على التوالي. واقترح مستوى ثالث أيضا، حيث يكون التايون هو الصورة الأثقل للإليكترون. والكوارك " قاع " فى الحقيقة صورة ثقيلة الوزن من الكوارك " أعلى" . ولكى نكمل التناسب بين جوانب الموضوع فنحن نحتاج إلى نيوترينو آخر(التايون-نيوترينو) ونكهة كوارك سادس، أطلق عليه اسم "قمة" والذى يعرف أيضا باسم "حقيقة". وأثناء إعداد هذا الكتاب للطبع ، كانت لا تزال الدلالة التجريبية على الكوارك " قمة" غير مؤكدة ، غير أن القليل من الفيزيائيين يشكون فى وجوده . [اكتشف جيم قيمة فى معمل فيرى لاب قرب شيكاغو فى إبريل عام ١٩٩٤ ولم يكتشف حتى الآن جيم تايور - نيو ترينو - المراجع] .

هل من الممكن أن يكون هناك مستوى رابع وخامس ،.. لا يزال مأهولا بجسيمات أثقل؟ إذا كان الأمر كذلك، فيجب أن ينتجها الجيل التالى من المعجلات . ومع ذلك فهناك آراء مهمة، تشير إلى المستويات الثلاثة التى عرفناها من قبل هى المستويات الوحيدة الموجودة. وتتعلق الآراء بعدد أنواع النيوترينو. إذ أنه خلال الانفجار العظيم الساخن، الذى كان علامة على بداية الكون ، كانت تنتج جسيمات النيوترينو بكميات

هائلة، وحصل كل نوع من هذه الجسيمات على نصيب متساوٍ من الطاقة. وتدل الحسابات أنه لو كان هناك أكثر من ثلاثة أنواع من جسيمات النيوترينو ، فسوف تتسبب فى إرباك التفاعلات النووية التى حدثت خلال الدقائق القليلة الأولى من ميلاد الكون. ولذلك السبب ، يبدو من المحتمل أن المستويات الثلاثة من التركيب المبينة بالجدول 3 تمثل كلية الهادرونات واللبتونات التى تستخدمها الطبيعة .

جدول (3)

لبتونات	كواركات	
إليكترون Electiom	أعلى	UP
إليكترون – نيوترينو	أسفل	DOWM
ميون Muan	ساحر	Charm
ميون – نيوترينو	غريب	Strange
تايون Tauon	قمه	Top
تايون – نيوترينو	قاع	Bottom

تتوافق اللبتونات والكواركات بصورة طبيعية فى صورة أزواج وفقا لنكهاتها، كما هو موضح. ويتكون الكون الحالى من أربعة جسيمات فى المجموعة العلوية. ويبدو أن المجموعتين السفليتين مجرد نسخ من الأولى.

ومن الحقائق الملفتة للنظر ، أن كل المادة الطبيعية الموجودة حاليا فى الكون لا تتكون إلا من اللبوتونين الاثنين الأخف(الإليكترون والنيوترينو المصاحب له)، والكواركين الأخف(أعلى وأسفل). فإذا توقفت اللبتونات والكواركات الأخرى فجأة عن الوجود، فمن المحتمل ألا يتغير الكثير فى العالم. ويبدو أن الكواركات واللبتونات الباقية نسخ غير ضرورية من هذا المستوى الأعلى من التركيب. وهكذا، فإن التايون والميون يتحللان إلى إليكترونات، فى حين سرعان ما تتفتت جسيمات غريب وساحر وقاع ، إما إلى نيوترونات أو بروتونات فى حالة البايرونات، أو إلى لبتونات فى حالة

الميزونات. وهذا يثير السؤال، ما سبب وجود كل هذه الجسيمات فى المستوى الثانى والثالث، ولماذا تهتم الطبيعة بها ؟

4 - الجسيمات حاملة القوى :

بينما تعتبر الأزواج الستة من الليبتونات والكواركات وحدات بناء المادة ، فهى لا تستنفد قائمة جميع الجسيمات المعروفة لدى الفيزيائيين. فبعض الجسيمات ، مثل الفوتون غير متضمن فى هذا النظام . ولا تعتبر هذه الجسيمات الباقية جزءا من بنية العالم ، لكنها "الغراء" الذى يربط أجزاء العالم ببعضه ، أى أنها تصاحب القوى الأربع .

وأذكر أننى علمت عندما كنت شابا أن القمر يجعل المحيطات تعلو وتهبط فى حركات المد والجزر اليومية. وقد كان يبدو لى من الأمور الغامضة أن مياه المحيط يجب أن تعرف المكان الذى يكون فيه القمر، وعلى ذلك تتبع حركاته عبر السماء. وعندما تعلمت الكثير عن الجاذبية حينما كنت طالبا فلم يزداد عندى إلا الإحساس بالحيرة. كيف يستطيع القمر أن يبسط نفوذه عبر ربع مليون ميل من الفضاء ، ويقبض على المحيط؟ والإجابة النموذجية – هى أن القمر يحدث مجالا جذبيا فى المنطقة المحيطة به، وأن هذا المجال يلامس المحيط ويقنعه بالتحرك – لها بعض المعقولية. لكننى كنت لا أزال غير مقتنعًا . أنك لا تستطيع أن ترى مجال جاذبية القمر . هل كان ذلك مجرد نزوة من نزوات الكلام؟ هل يعبر ذلك فى الحقيقة عن أى شىء ؟ وقد بدا لى إن القمر يعلم المحيط بطريقة ما بوجوده ، وكان يجب أن يصل بينهما شكل من أشكال الرسائل أو الإشارات بحيث تعرف المياه كيف تتحرك .

وكما اتضح ، فإن فكرة وجود قوة تتواصل عبر الفضاء فى صورة إشارة ليست حتى الآن المدخل الحديث للموضوع. ولمعرفة كيف جاء هذا التصور، فمن الضرورى النظر إلى آلية مجال القوة **Force Field** بشكل أوضح. وسوف نأخذ كمثال، ليس مد وجزر المحيطات ، ولكن الحالة الأبسط لإليكترونين يقتربان من بعضهما، ويجابهان قوة تنافر **Replusive Force** كهربية تجعلهما يبتعدان عن بعضهما البعض. وهذا ما يعرفه الفيزيائيون بـ"مشكلة الاستطارة " **scattering problem** أو التشتت . وفى الواقع ،

لا تتباعد الإليكترونات عن بعضها بالمعنى الصحيح، فهى لا تلامس بعضها بالفعل. فالقوة تحدث عن بعد خلال مجال كهرومغناطيسى ينبعث من كل إليكترون .

ومن السهل تكوين تصور عقلى لتشتت الإليكترون. فبداية ، تتباعد الجسيمات عن بعضها ، ويكون تأثيرها على بعضها البعض ضعيفا، فهى تتحرك فى مسارات متقاربة تكاد تكون مستقيمة (شكل 11) . حينئذ عندما تتعاظم القوة الطردية ، تبدأ المسارات فى الانحناء إلى أن تصل الإليكترونات نقطة الاقتراب الأدنى ، بعدها تنحرف المسارات بعيدا عن بعضها وتتراجع الإليكترونات إلى الوراء، وتعود فى النهاية إلى حركة خط مستقيم ولكن على طول مسارات منفرجة. ويمكن أن يوضح هذا النوع من السيناريو بسهولة فى المعمل، باستخدام كرات مشحونة بشحنة كهربية ساكنة **Electro- static** بدلا من الإليكترونات. ومرة أخرى تواجهنا مشكلة كيف "يعرف" كل جسيم أن الجسيم الآخر موجود بحيث يمكنه ضبط حركته وفقا له .

وعلى الرغم من سهولة تصور فكرة مسارات **Paths** إليكترون منحنية ، إلا أنها فكرة يشوبها خطأ فى عدد من الأمور. وذلك لأن الإليكترونات جسيمات كمية، وسلوكها يخضع لكل الأمور الغريبة لفيزياء الكم. وبداية ،لا تتبع الإليكترونات مسارات محددة تماما فى الفضاء بأية حال، وربما يمكننا تحديد نقاط رحيلها ووصولها قبل وبعد حدث التشتت ، غير أن المسارات البينية المتبعة تعد مسارات غامضة وغير محددة. وعلاوة على ذلك ، فإن الفكرة البديهية لإليكترون يتبادل الطاقة وكمية الدفع مع المجال بطريقة مستمرة كلما ازدادت سرعته ، تتضارب مع وجود الفوتونات. ولا يمكن للطاقة وكمية الدفع الانتقال خلال المجال إلا فى صورة كمات أو كوانتكا. والتصور الأكثر دقة لطريقة اضطراب حركة إلكترون بواسطة المجال، هو افتراض أن الجسيم يواجه دفعاً مفاجئا عندما يمتص فوتون من المجال. وعندما ينظر إليه على المستوى الكمي، يمكن تصور حدث الاستطارة أو التشتت بين الإلكترونين كما هو مبين بالشكل 12 . ويمثل الخط المتموج الواصل بين مسارى الإلكترونين فوتونا واحدا ينبعث من أحد الإليكترونات ويمتصه الإلكترون الآخر. وحينئذ يظهر حدث الاستطارة فى صورة تغير مفاجئ فى اتجاه حركة كل إليكترون .

وقد استخدم هذا النوع من الرسوم البيانية لأول مرة ، ريتشارد فينمان **Richard Feynman** ، لتمثيل الحدود فى معادلة ، وكان الغرض منه الحصول على قيمة رمزية

ليس إلا. ومنذ ذلك الحين، أصبحت مخططات فينمان تستخدم على نحو غير رسمى، كتصور غير دقيق لما يفترض حقيقة أنه يحدث ماديًا. وهذه التصورات تساعد البديهة ، ولكن يجب أن تفسر بطريقة فضفاضة ليس إلا. وعلى سبيل المثال ، من المستحيل مطلقا ملاحظة الدفعات الحادة فى مسار إليكترون. فإذا لاحظنا مواضع دخوله وخروجه فأننا لا نعرف اللحظة الدقيقة التى يتبادل فيها الفوتون ، ولا نعرف أيضا أى الجسيمات التى قامت بالانبعاث وأيها التى امتصت . فكل هذه التفاصيل تضيع فى غياهب غموض الكم .

وعلى الرغم من هذا الحذر ، تقدم مخططات فينمان تمثيلا قويا للشكل الكمى لقوة. ويمكننا اعتبار الفوتون المتبادل بين الإليكترونات بأنه نوع من الجسيمات حاملة القوى صدر من أحد الإليكترونات ليخبر الآخر : أنا هنا ، فلتتحرك أذن! وبالطبع ، تخضع جميع العمليات الكمية لقوانين الاحتمال ، ولذا لن يحدث هذا التبادل إلا مع بعض الاحتمالات المحددة . فربما يتبادل الإليكترونات اثنين أو أكثر من الفوتونات (شكل 13) مع أن هذا أقل احتمالا .

ومن المهم أن ندرك أننا لا نرى الفوتونات حاملة القوى **Force- Carrying** وهى تمر جيئة وذهابا من إليكترون لآخر . وتظل الرسائل نوع من الترتيب الخاص بين الإليكترونات . فوجودها يقتصر على إخبار الإليكترونات كيف تتحرك ، وعلى الرغم من أنها تحمل طاقة وكمية دفع، فأنه لا يجرى اتباع القوانين المعتادة لهذه الكميات المألوفة فى الفيزياء التقليدية . وقد قورنت الفوتونات حاملة القوى بالكرة المتبادلة بين لاعبى التنس. فكما أن كرة التنس تشكل نمط النشاط الذى يتبعه اللاعبون ، كذلك يؤثر نفوذ الفوتون على الإليكترونات .

ويتضمن نجاح وصف الجسيم حامل القوى على توسيع مفهوم الفوتون، من كونه جسيم من الضوء يمكننا رؤيته إلا أنه بصورة أدق كيان سريع الزوال لا "يرى" إلا بواسطة الجسيمات المشحونة التى تتشتت . وأحيانا تسمى الفوتونات التى نراها فوتونات حقيقية **Real** ، والفوتونات حاملة القوى ، فوتونات تقديرية **Virtual** تذكرنا بصفتها المؤقتة التى تكاد تكون شبحية. والتمييز إلى حد ما مصطنعا بالفعل، لكنه يستخدم على نطاق واسع .

ويبلغ تصور النشاط الكهرومغناطيسى على أساس الفوتونات التقديرية حاملة القوى أبعد كثيرا من مجرد نموذج بديع للقوى الكمية. فهو بالفعل بالغ التعقيد ويصف تفصيلا نظرية رياضية معروفة باسم إليكتروديناميك الكم quantum electrodynamics أو تختصر إلى (QED) وعندما صيغت إليكتروديناميك الكم لأول مرة ، بعد فترة قصيرة من الحرب العالمية الثانية، توفر للفيزيائيين نظرية تخضع لكل من نظرية الكم ونظرية النسبية. وهنا كانت الفرصة العظيمة لرؤية كلا من الأوجه المهمة للفيزياء الحديثة التى تعمل معا ، ولاختبارها فى تجارب عملية .

ومن الناحية النظرية، كانت إليكتروديناميكا الكم إنجازا لافتا للنظر، فقد لاقت الأبحاث السابقة على تفاعل الفوتونات والإليكترونات نجاحا محدودا بسبب الصعوبات الرياضية. وبمجرد أن عرف الباحثون أخيرا كيف يعالجون مسائلها الحسابية بالصورة الصحيحة، وضع كل شيء فى مكانه على الوجه الصحيح. وقدمت النظرية أسلوبا لحساب نتائج أية عملية مطلوبة تتضمن على الفوتونات والإليكترونات مهما كان تعقدها .

ولكى يختبر الفيزيائيون كيف ترتبط نظريتهم الجديدة بالعالم الحقيقي، فقد ركزوا انتباههم على تأثيرين فيزيائيين مهمين بصورة خاصة. تعلق أولهما بمستويات طاقة ذرة الهيدروجين ، التى تعتبر من أبسط النظم المعروفة. ووفقا لإليكتروديناميكا الكم ، يجب أن تتغير المستويات تغيرا طفيفا عما يجب أن تكون عليه إذا كانت الفوتونات حاملة القوى غير موجودة . وحصلت النظرية على قيمة دقيقة جدا للتغير المتوقع . وقد قام ويليس لامب Willis Lamb من جامعة أريزونا بتجربة للبحث عن التغير، وقاس قيمته بدقة على قدر الإمكان. وحتى تعم البهجة، فقد اتفقت التجربة مع الحساب بصورة دقيقة .

وتضمن الاختبار الحاسم الثانى لإليكتروديناميكا الكم على تصحيح صغير جدا للمجال المغناطيسى الذى يحمله الإليكترون . ومرة أخرى اتفقت التجربة والنظرية ، وشرع الباحثون فى تصحيح حساباتهم وحسنت التجارب من أساليبهم . وعندما أصبحت التجربة والحساب تجريان بصورة أفضل على نحو متزايد، ظل الاتفاق بلا أخطاء . وتتفق التجربة والنظرية حاليا على حدود الدقة التى تصل لتسعة أرقام . وهذا التوافق المذهل جعل من إليكتروداينميكا الكم أعظم النظريات العلمية الكمية الموجودة .

ونظرا لهذه الانتصارات، فمن السهل فهم كيف أصبحت إليكتاروديناميكا الكم نموذجا للوصف الكمى للقوى الثلاث الأخرى للطبيعة أيضا. وبالطبع، فقد تطلبت المجالات الأخرى المصاحبة للقوى الأخرى أنواع مختلفة من الجسيمات حاملة القوى Carrier Particles. وفى حالة الجاذبية، ابتكر جسيم يسمى جرافيتون Graviton ، الذى يلعب دورا مماثل للفوتون. وعندما يولد جسيمان تأثيرا تجاذبياً على أحدهما الآخر، تتبادل الجرافيتونات بينهما. ويمكننا رسم مخططات مشابهة تماما للأشكال 12 و 13 لتمثيل هذا. فالجرافيتونات هى التى تحمل رسالة القمر إلى المحيطات لتخبرها بأن تعلو وتهبط فى حركة مد وجزر. والجرافيتونات المتسارعة جيئة وذهابا بين الأرض والشمس تجعل كوكبنا فى مداره. وهناك شبكة من الجرافيتونات تربطك وتربطنى بشدة نحو الأرض .

والجرافيتونات مثل الفوتونات تنتقل بسرعة الضوء؛ فهى لذلك السبب جسيمات لها كتلة سكون صفر .Zero Rest-mass غير أن التشابه ينتهى هنا. ففى حين تحمل الفوتونات وحدة لف واحدة ، فإن الجرافيتونات تحمل وحدتى لف. ويعتبر هذا اختلافا مهما لأنه يحدد اتجاه القوة . وفى الجسيمات المتماثلة كهرومغناطيسيا مثل الإليكترونات تطرد أحدها الآخر ؛ وبالنسبة للجاذبية فكل الجسيمات تتجاذب .

وتظهر الجرافيتونات أيضا فى صور حقيقية أو تقديرية. والجرافيتون الحقيقى Real هو كم من موجة جاذبية كما أن فوتونا حقيقيا هو كم من موجة كهرومغناطيسية. ويمكننا من حيث المبدأ رؤية جرافيتونات حقيقية. ومع ذلك ، وحيث أن الجاذبية قوة ضعيفة بدرجة لا تتصور، فيصعب اكتشاف الجرافيتونات بصورة مباشرة . فإنها تقترن بجسيمات كمية أخرى بقوة ضعيفة لدرجة أن احتمال أن يكون جرافيتونا متفرقا أو ممتصا ، ولنقل بواسطة بروتونا هو احتمال ضئيل جدا.

وإذا انصرفنا إلى القوى الباقية (انظر جدول 4) ، القوة الضعيفة والقوة الشديدة ، فإنه يمكن الإبقاء على الفكرة الأساسية لتبادل الجسيم حامل القوى ومع ذلك فهناك اختلافات تفصيلية مهمة. تذكر أن القوة الشديدة هى المسئولة عن لصق الكواركات ببعضها. ويمكن الحصول على ذلك بواسطة مجال قوة مشابه للكهرومغناطيسية لكنه أكثر تعقيدا . ويمكن أن تجعل جسيمان لهما شحنات مخالفة أن يرتبطا ببعضها. وفى حالة الكواركات ، فإن صورة الحالات المرتبطة المحتوية على

ثلاث جسيمات والتى تشمل على مجال للقوة ، والتى تقترح نوع أكثر اتقانا من مجال قوة يتضمن ثلاث أنواع من " الشحنة "، فـإن الجسيـمات حاملـة القـوى المتبادلـة بين الكواركات التى تلصقها ببعضها فى صورة أزواج أو ثلاثيات ، تسمى جليونات .

جدول (4)

القوة	الجسيم	الشحنة	الكتلة
القوة الكهرومغناطيسية	فوتون	0	0
قوة الجاذبية	جرافيتون	0	0
القوة الضعيفة	$W^{\pm}$	± 1	85
	Z	0	95
القوة الشديدة	جليون	0	0

الجسيمات التى تحمل قوى الطبيعة الأربع. يعبر عن الكتلة بوحدات كتلة البروتون

وفى حالة القوة الضعيفة فإن الموقف يختلف قليلا ، فالقوة لها مدى قصير جدا. وللحصول على هذا ، تستخدم القوة الضعيفة الجسيمات حاملة القوى ، التى يكون لها كتلة سكون كبيرة. ويجب اقتراض الطاقة المختزنة فى هذه الكتلة من مبدأ عدم يقين الطاقة لهايزنبيرج الذى ناقشناه فى الفصل الثالث . ولما كانت الكتلة (ومن ثم الطاقة) المقترضة كبيرة جدا ، فإن قوانين مبدأ عدم اليقين تتطلب أن يكون القرض ذو أجل قصير جدا، لا يدوم لأكثر من 10^{-26} من الثانية. ولما كانت الجسيمات حاملة القوى قصيرة العمر، فإنها لا تمضى بعيدا جدا، ولذا يكون مدى القوة الضعيفة قصير جدا .

وهناك بالفعل نوعان مختلفان من حاملات القوة الضعيفة. أحدهما يشبه الفوتون فى كل شيء ماعدا كتلة السكون. فهو ليس له اسم، لكنه يعرف فقط بالحرف Z والجسيم Z هو أساسا شكل جديد من الضوء. ويسمى النوع الآخر من جسيمات حاملة القوى الضعيفة بـ W ، وتختلف عن Z فى أنها تحمل شحنة كهربية . وسوف نناقش بالتفصيل فى الفصل السابع الجسيمات W و Z والتى لم تكتشف إلا فى عام 1983 .

وتصنيف الجسيمات إلى كواركات ولبتونات وجسيمات حاملة القوى يكمل قائمة الجسيمات دون الذرية المعروفة . ولا يزال يلعب كل منها دورا مستقلا أساسيا فى تشكيل الكون. وبدون حاملات القوى لن تكون هناك قوى، وسوف يظل كل جسيم غافلا عن جيرانه . ولا يمكن أن توجد تركيبات ولن تحدث أنشطة لها أهمية تذكر . وبدون الكواركات لن تكون هناك نوى ذرية ولا أشعة شمس . وبدون اللبتونات لايمكن أن توجد ذرات ، ولن تكون هناك كيمياء ولا حياة .

5 - هدف فيزياء الجسيمات :

حملت صحيفة الجارديان البريطانية ذات المكانة المرموقة بين الصحف مؤخرا ، مقالة تستفسر عن الدافع وراء فيزياء الجسيمات، ذلك المشروع الذى يكلف ملايين الدولارات، الذى لا يقتطع جزءا كبيرا من ميزانيات العلوم القومية فقط ، ولكن يتطلب أيضا قدر كبير نوعا من الموهبة الفكرية. وتساءلت الجارديان: هل يعرف الفيزيائيون ماذا يفعلون ؟ وإذا كان الأمر كذلك ما هو الهدف بأية حال ؟ من غير الفيزيائيين سيهتم بكل هذه الجسيمات ؟

وبالمصادفة، بعد مرور شهرين كنت أتابع (المؤلف) محاضرة فى بالتيمور ألقاها جورج كيورث **George Keyworth** المستشار العلمى للرئيس الأمريكي. وتناول كيورث أيضا موضوع فيزياء الجسيمات **particle Physics** ، غير أن نغمته كانت مختلفة. فقد كان الفيزيائيون الأمريكيون يشعرون بالضيق وخيبة الأمل من الإعلان الأخير الصادر عن معمل الجسيمات التابع للمنظمة الأوربية للأبحاث النووية المعروفة باسم (سيرن) قرب جنيف ، الذى اكتشفت فيه مؤخرا كل جسيمات **W** و **Z** المهمة فى جهاز التصادم الكبير " البروتون – نقيض البروتون " . فقد تعود الأمريكيون على معاملهم عالية الطاقة التى حققت كل الاكتشافات الحديثة. هل كان هذا علامة انحدار علمى أمريكى قومى تام ؟

لم يشك كيورث فى أن ثراء أمريكا بشكل عام، واقتصادها على وجه الخصوص، يتطلب أن تكون الجهود العلمية من أوليات مساعى الأمة . وقد صرح بأن المشروعات الكبرى فى الفيزياء الأساسية تقع فى مقدمة هذه الجهود . ويجب على أمريكا أن تستعيد تفوقها فى فيزياء الجسيمات .

وفى ذلك الأسبوع ، تناقلت الأخبار قصة معجل أمريكى عملاق يجرى التخطيط له من أجل جيل جديد من تجارب فيزياء الجسيمات. وقدرت التكلفة الأساسية بألفى مليون دولار، وجعلت منه إلى حد بعيد الآلة الواحدة الأكثر كلفة التى يصنعها البشر. فالمعجل الأمريكى LEP ، يجعل من معجل سيرن الأوربى قزما بالنسبة له . وهو من الضخامة بحيث يمكنه أن يطوق لوكسمبورج كلها ! وسوف تولد الموصلات الفائقة الضخامة المجالات المغناطيسية الشديدة المطلوبة لإحراف وتوجيه حزم الجسيم حول أنبوبة على شكل دائرة ، والتى لن تكون ظاهرة للعيان ، حيث أنها توجد فى نفق فى أعماق صحراء تكساس . وقد تساءلت ماالذى يعتقده رئيس تحرير الجارديان .

وهذه الآلة التى تعرف بالمصادم الفائق عالى التوصيل، والذى يطلق عليه "ديزرتون" Desertron ، سيكون قادراً على إسراع البروتونات بمقدار عشرون ألف مرة كتلة طاقة سكونها. وهناك العديد من الأساليب لتفسير هذه الإحصائية. فالجسيمات عندما يتم تسريعها ، تصل إلى سرعة أقل قليلا من سرعة الضوء وهى أقصى سرعة فى الكون - بمقدار واحد كيلومتر فى الساعة . وسوف تكون تأثيرات النسبية من الكبر لدرجة أن كل جسيم سوف يزن عشرين ألف مرة عندما يكون سريعاً عما يكون فى حالة السكون . ومن وجهة نظر جسيم كهذا، فسوف يتمدد الزمن كثيرا لدرجة أن ثانية واحدة بالنسبة للجسيم سوف تناظر 5.5 ساعة فى إطار إسنادنا. وكل كيلو متر من لفات الأنبوبة التى سيغوص فيها سوف تظهر للجسيم وكأنها انكمشت إلى مجرد خمسة سنتيمترات .

ما الدافع الذى يجعل الأمم تنفق هذه الأموال الضخمة فى مسألة تحطيم بشكل أكثر عنفا؟ هل لهذه الاختبارات أية استخدامات عملية يمكن تصورها ؟

[ألفى المشروع الأمريكى لتضخم ميزانيته ، وعدم موافقة الكرنجرس - المراجع]

ومما لا شك فيه أن هناك رغبة قومية قوية متضمنة فى كل العلوم الكبيرة. فكما أنه من الجميل فى الفن أو الرياضة الفوز بالجوائز واستحسان العالم، فكذلك أصبحت فيزياء الجسيمات شكلا من أشكال رموز القوة القومية . فإذا حسبتها جيدا، وبأسلوب مؤثر ، فسوف يتضح أنه لا يوجد خطأ كبير فى علومك وهندستك أو اقتصادك. فهذا يدعم الثقة فى منتجاتك التكنولوجية الأخرى ذات النوعية الأكثر تصديرا . والإنشاء الفعلى لمعجل وكل آلاته الابتكارية المصاحبة يتطلب مستوى عال جدا من المنافسة

التكنولوجية، وتكتسب الخبرة الكبيرة من التكنولوجيات الجديدة التى يمكن أن يكون لها فائدة أخرى مهمة فى المجالات العلمية الأخرى. وعلى سبيل المثا ل، كان البحث وأعمال التطوير فى المغناطيسات فائقة التوصيل المطلوبة لجهاز " ديزرتون " يتقدم فى الولايات المتحدة لمدة عشرين عاما . ومع ذلك، يصعب تقدير كل هذه الفوائد غير المباشرة. فهل هناك نتائج ملموسة ؟

وهناك قضية أخرى يسمعها المرء أحيانا تأييدا للأبحاث الأساسية تمضى فى أمور مثل هذه. تميل الفيزياء للمضى حثيثا فى التكنولوجيا لخمسين عاما قادمة. وعندما تحدث اكتشافات جديدة ، فإن التطبيقات المكنة غالبا ما تكون بعيدة تماما عن الوضوح ، على الرغم من أن أوجه تقدم كبرى قليلة فى فهمنا للفيزياء الأساسية قد تفشل فى أن تستغل إن آجلا أو عاجلا . ولنفكر فى أبحاث ماكسويل عن الكهرومغناطيسية: هل كان فى إمكانه أن يتوقع إليكترونيات الاتصالات الحديثة ؟ وما ذا عن مقولة رزرفورد بأنه لم يفكر فى أن تكون للطاقة النووية أية استخدام ؟ من الذى يمكنه أن يتوقع عما سينتج عن فيزياء الجسيم ، أو القوى الجديدة التى يمكن أن تنطلق ؟ ما هى المبادئ الجديدة التى ستزيد من فهمنا للعالم ، وتعطينا القوة على نطاق أوسع من الظروف الفيزيائية ؟

لقد تم استغلال معظم فروع العلم فى النهاية فى بعض المراحل فى صورة تكنولوجيا عسكرية . وحتى الآن، فإن فيزياء الجسيمات (فى مقابل الفيزياء النووية) **Nuclear physics** ظلت بريئة نسبيا فى هذا المقام . ومع ذلك ، فقد تصادف أن تطابق خطاب كيورث مع موجة الحماس الشعبى لمشروع الرئيس ريجان الجدلى عن الصواريخ المضادة ، الذى عرف باللغة العامية بأنه برنامج أسلحة الطاقة الموجهة **Beam Weapon** والغرض منه استخدام حزم الجسيم عالية الطاقة وتوجيهها ضد قاذفات العدو. وهنا، حينئذ، سيكون هناك تطبيق عملى لفيزياء الجسيمات ، ولو أنه تطبيق مشئوم .

والرأى السائد هو أن جهاز كهذا لن يكون مجديا(على الرغم من أن الشائعات تصر على أن الروس قد سبق لهم العمل فى مشروع مماثل). ومن المؤكد أن معظم فيزيائيو الجسيمات يجدون فى الفكرة بعض العبث والتنفير، وقد عارضوا بشدة اقتراح الرئيس. وقد انتقدهم وعنفهم كيورث بشدة لهذا السبب ، وناشد كل عضو فى مجتمع الفيزياء أن يدرس الدور الذى يمكن أن يلعبه فى جعل أسلحة الطاقة الموجهة

اقتراحا عمليا. فقد تبع توسله موافقته (وقد جاءت المصادفة بغير شك) على تمويل أبحاث فيزياء الجسيمات عالى الطاقة .

فقد كان رأيى دائما فى أن الفيزيائيين يجب ألا يشعروا بالإجبار للدفاع عن الأبحاث الأساسية بالالتماس إلى فائدة إضافية (وعلى الأخص من النوع العسكرى) أو مناظرة تاريخية أو وعود جوفاء عن المهارات الفنية العجيبة . فالفيزيائيين يؤدون أبحاثهم فى الأساس من أجل صالحهم ، من شعور عميق بالفضول عن كيف يتجمع العالم معا، وعن رغبة لمعرفة وفهم الطبيعة بصورة أكثر وضوحا. وفيزياء الجسيمات هى مغامرة بشرية ليست لها مثيل . ولقرابة ألفين وخمسمائة عام فكر الإنسان فى وحدات البناء العظمى للمادة، ونحن نقترب الآن من نهاية هذا الهدف . فمن خلال الأجهزة الضخمة يمكننا أن نسبر أغوار المادة ذاتها وننتزع من الطبيعة أسرارها الدفينة. فقد تكون هناك فائدة ثانوية ، وقد تكون هناك تكنولوجيا لم تكن فى الحسبان؛ ومن ناحية أخرى، ربما لا نخرج بشىء ذو فائدة عملية. غير أن هناك قيمة عملية بسيطة فى صالة كاتدرائية أو موسيقية . وكما أشار فارادى ذات مرة : " ما الهدف من طفل وليد ؟ " فمشروعات بحتة مثل فيزياء الجسيمات تعد دليل على إلهام روح الإنسان ، وحتى فى عالم تطغى عليه الرغبات المادية ، فإن لم تكن لنا هذه الروح سوف نضل .

الهوامش

(1) معجل الجسيمات: جهاز لتسريع الجسيمات المشحونة ، مثل الإليكترونات والبروتونات وأيونات الذرات الخفيفة أو الثقيلة .

(2) فيزياء الطاقات العالية: فرع الفيزياء،الذي يعني بدراسة خصائص وسلوك الجسيمات الأولية،وخاصة من خلال تصادمات الجسيمات ذوات الطاقات العالية وانحلالها .

(3) فوتون: كم الإشعاع الكهرومغنطيسي ، وليس للفوتون شحنة أو كتلة ، وينطلق بسرعة الضوء. وتتناسب طاقة الفوتون مع تردد الأشعة الكهرومغناطيسية تناسبا طرديا.

(4) عمر النصف: الزمن الذي يلزم نوى مشعة من نوع ما،لتنقص إلى نصف عمرها ، أو هو الزمن اللازم لينقص نشاطها الإشعاعي إلى نصف قيمته،نتيجة للتحلل الإشعاعي .

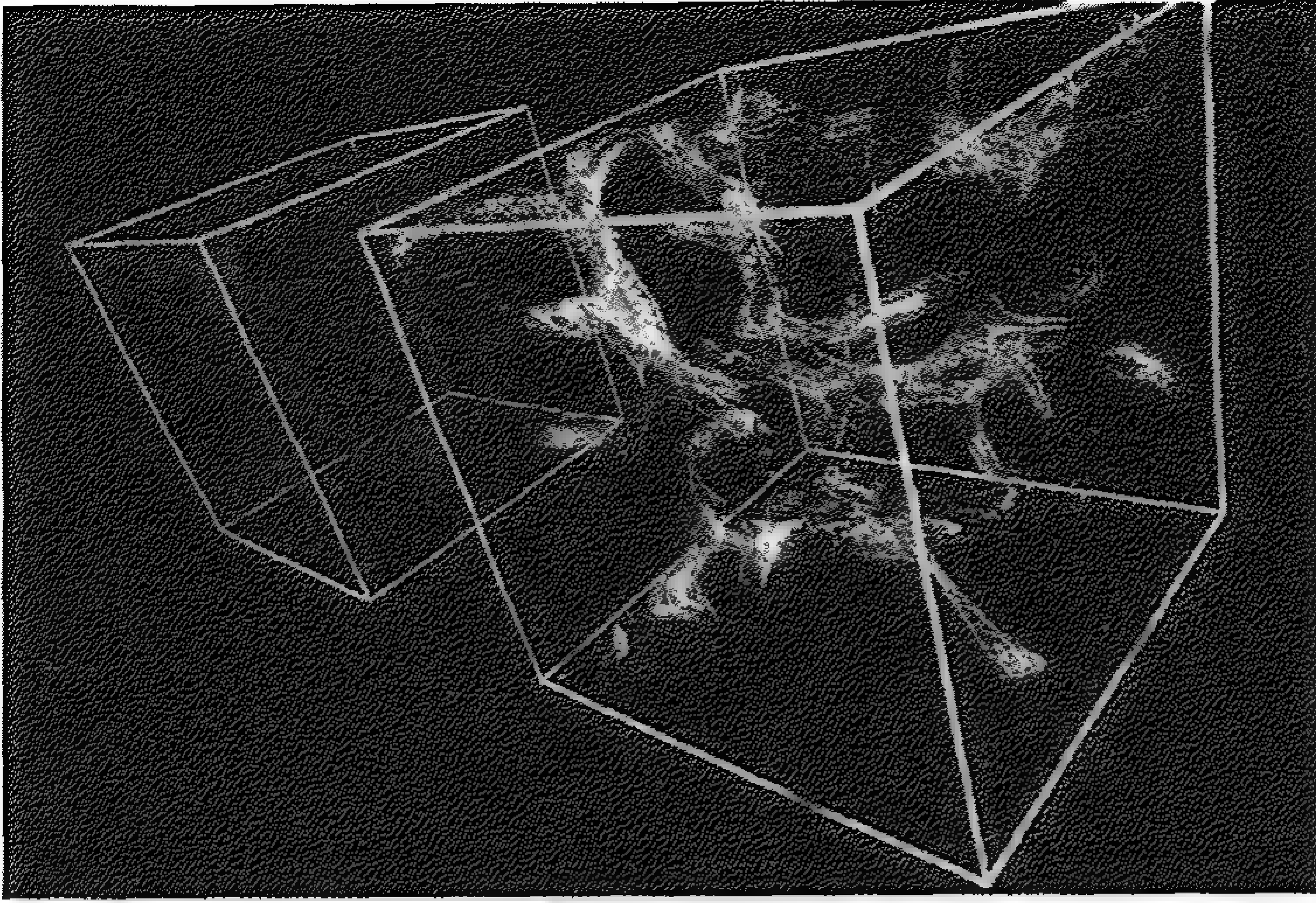
(5) هادرون: اسم يطلق على كل الجسيمات الأولية،فيما عدا اللبتونات والفوتونات والهاردونات تشارك في التفاعلات القوية ، وهي تشمل الميزونات والباريونات .

(6) ميون : جسيم أولي من نوع اللبتونات ، يمكن أن يكون سالبا أو موجبا وتصل كتلته إلى 207 كتلة الإلكترون. وهو جسيم غير مستقر .

(7) عداد جايجر : عداد يعتمد على تضخيم النبضة الكهربائية الناتجة عن التأين بمرور جسيم مشحون في جسم العداد تضخيما كبيرا، ولا يفرق العداد بين طاقة الجسيمات المعدودة ولا بين أنواعها . (المترجم) .

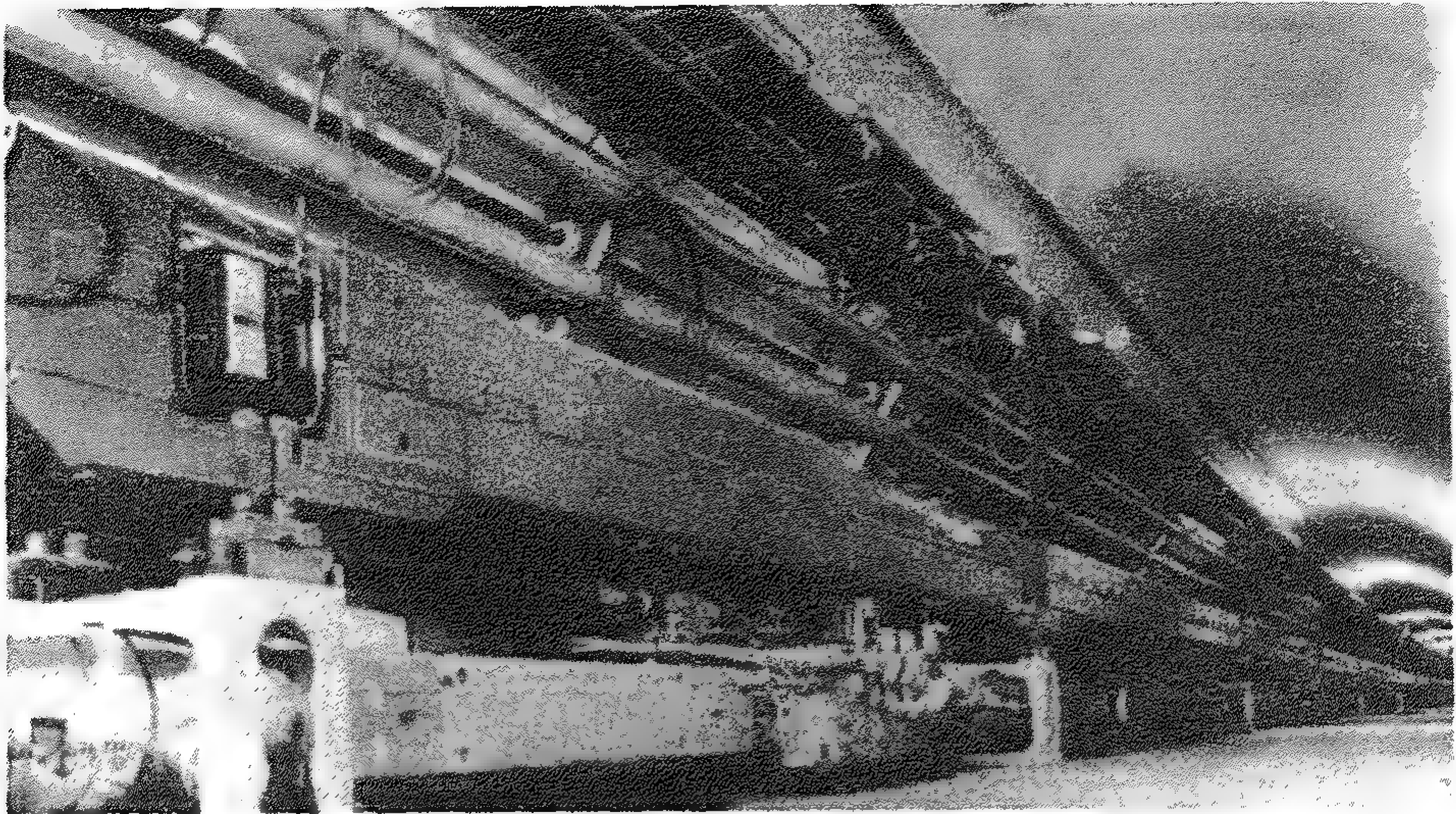
(8) كوارك : جسيم أولي يعد لبنة بناء الهادرونات،وشحنته كسر من شحنة الإلكترون ، ويمكن بناء عدد كبير من الهادرونات نظريا من الكواركات . (المترجم) .

(9) جرافيتون : جسيم يفترض وجوده نظريا ولم يمكن بعد اكتشافه تجريبيا ، وهو جسيم مجال الجاذبية،مثل الفوتون الذي هو جسيم المجالات الكهرومغناطيسية . ويفترض أن كتلة هذا الجسيم هو صفر ، وأن سرعته هي سرعة الضوء .



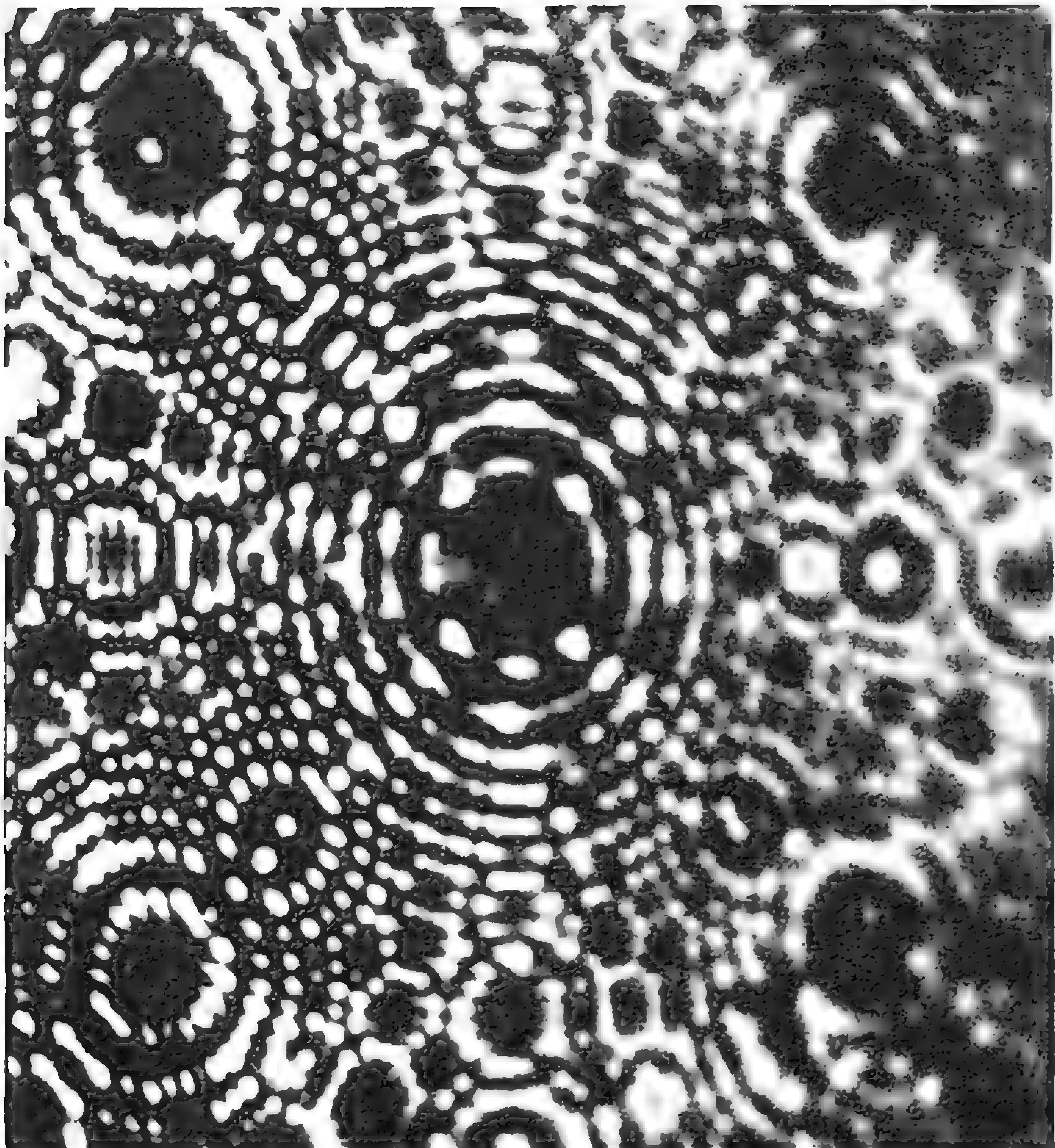
Computer maps of the universe show clumps of galaxies

تتنبأ نظرية سلام - داينبيرج بأن الإليكترونات يمكن أن تفرق النيوترونو عن طريق تبادل نوع جديد من الجسيمات حاملة القوى الضعيفة المتعادلة كهربيا ، جسيم **Z** . وتم الحصول على دلالة تجريبية لهذه العمليات فى منتصف السبعينيات .

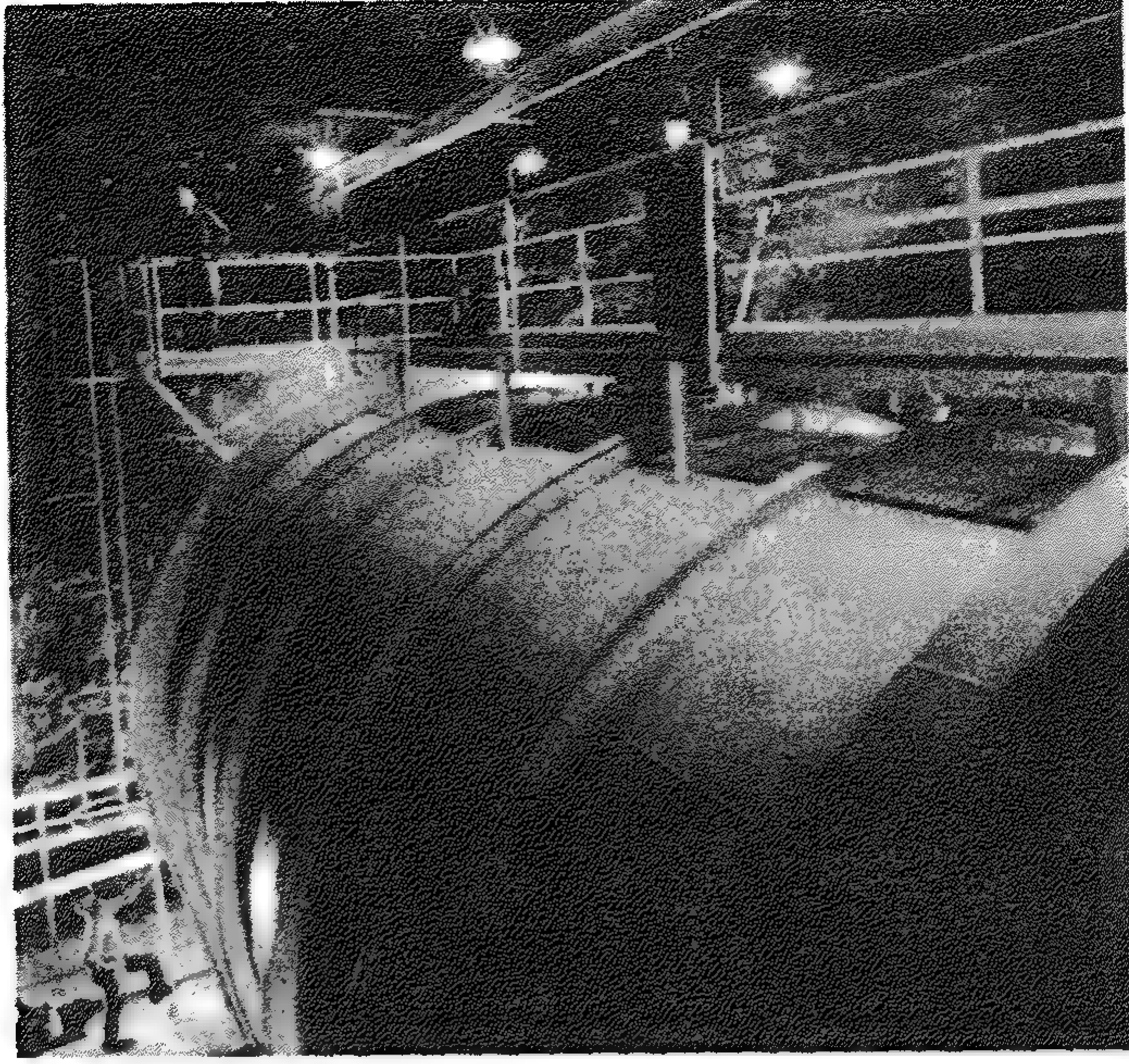


The Fermilab main tunnel near Chicago, with a new yellow ring of superconducting magnets

تؤدى عمليات تأثير ذاتى معقدة أخرى إلى تأثيرات طاقة لانهائية أخرى . وفى الكهروديناميكا الكمية، يمكن تجنب كل هذه التأثيرات على رغم تعقدها بصورة رياضية بواسطة عملية طرح بسيطة (إعادة وتطبيع) .



المنحنى الجيبى . يتميز هذا الشكل بخصائص ترتبط ارتباطا وثيقا بالمنحنى الأسى الموضح بشكل 6 فهو يصف سلسلة كبيرة من الظواهر الفيزيائية ، تتضمن الحركة الموجية والذبذبات الدورية.



Neutrino-Detektor in South Dakota

المنحنى الأسى . يتضمن شكل هذا المنحنى بعض الخصائص الرياضية العميقة التى تكرر سلسلة كبيرة من المواقف الفيزيائية . فاعتبارها خطا يمكن أن تمثل الأسية ، على سبيل المثال ، النمو المفرط لتعداد السكان .

الفصل السابع

ترويض الأفكار الجامحة

1 - الطريق إلى توحيد النظريات :

دائما ما تكون الزيارة إلى معامل معجلات الجسيمات الضخمة تجربة مثيرة، حيث يتواجد المئات من العلماء والمهندسين والفنيين ، وحيث تتركز مواهب الأشخاص الذين كرسوا جهودهم لتشكيل الآلات الضخمة الرائعة فى قدراتها وتعقيداتها، وحيث الالتزام والشعور باستكشاف المجهول، مما يعطى انطباعا عن العلم فى أروع صوره .

عندما قمت بزيارة سيرن (المركز الأوربى للأبحاث النووية) لإلقاء بعض المحاضرات فى خريف عام 1982 ، بات من الواضح أن هناك شيء ما خاص يحدث، كان هناك جو من الإثارة والترقب ، شعور بأن اكتشافات عظيمة على وشك الحدوث فى أحد المواقع . ومن الظاهر كان عملا من الأعمال المعتادة، نشاط صاخب فى الطرقات ، علماء يهرولون نحو مواقع التجارب أو منتديات حلقات الدراسة، زوار من أعالى البحار منهمكون فى مناقشات حادة، يستوضحون آخر المعلومات عن هذا وذاك، باحثون يكتبون معادلات فى عجلة على السبورات أو على أوراق دشت لا تنتهى ، وسكرتيرات يجلسن أمام آلاتهم الناسخة، وفنيين يدققون النظر فى الأسلاك والأنابيب ، وصخب وجدل فى كافيتريا الغذاء. وفى أى وقت من الأوقات، تجرى العديد من التجارب فى سيرن . والمعجلات بوضعها فى مبانى مبطنة بالخرسانة الملساء ، أو سراديب مدفونة تحت الأرض، لا تنم من الخارج عن أى نوع من النشاط. ولا يشك الزائر العادى فى أن هناك شيئا من القوى تطلق لها العنان داخل تجاويف الآلات التكنولوجية العملاقة .

كانت أكبر آلات سيرن فى ذلك الوقت مصادم البروتون–البروتون النقيضة proton-antiproton collider ، وهو عبارة عن أنبوبة على هيئة دائرة يبلغ محيطها عدة أميال ، تدور فيها البروتونات والبروتونات النقيضة فى اتجاهات متقابلة . وعندما زودت حزم الجسيمات بالطاقة المناسبة أحدثت تصادما مباشرا. بعد ذلك تفنى

البروتونات البروتونات النقيضة ، وتطلق طاقتها لتنتج زخماً من الجسيمات الجديدة التى تنتشر فى جميع الاتجاهات من نقطة التصادم. وغالبا ما يكشف عن مسارات الجسيمات بواسطة أجهزة إلكترونية خاصة، تتأثر بمرور الأجسام المشحونة بشحنات كهربية. وباستخدام منظومة من هذه الأجهزة يمكن من الحصول على إعادة بناء مجسم لحدث التصادم. وتغذى الآلة بالبروتونات والبروتونات النقيضة مجموعة أجهزة فرعية ، تصنع إحداها البروتونات النقيضة الشديدة الانفجار، وتخزنها فى حلقة مغناطيسية خاصة قبل حقنها فى المصادم. وكان العقل المدبر للنظام الفيزيائى الإيطالى يدعى كارلو روبيا Carlo Rubbia . وكان روبيا فى خريف عام 1982 هو رجل الساعة .

وعلى الرغم من أن المصادم آنذاك كان لا يزال بسيطا فى تصميماته ، إلا أن الفيزيائيين المتلهفين كانت تحدوهم الرغبة فى الحصول على نظرة خاطفة أولية عن نوعية أحداث التصادم التى ستحدثها هذه الطاقات التى لم تكتشف. وعلى الرغم من أن فريق سيرن كانوا يقومون بنشاط لم يجربوه من قبل ، كانت لا تزال بين أيديهم نظرية كدليل. وفاق أحد الأحداث المتوقعة على كل الأحداث الأخرى . فلو كانت جميع الحسابات صحيحة، لكان الفيزيائيون فى أى لحظة على وشك إلقاء نظرتهم الأولى على نوع جديد من الجسيمات ، وهو جسيم " w " الذى يحمل القوة النووية الضعيفة . كان الجسيم w متوقعا قبل عدة عقود ، لكن أحدا لم يره. وكان التأكيد على وجوده سيحدد الخطوة الأولى على طريق القوة العظمى الموحدة.

وبحلول شهر ديسمبر، أطمئن العلماء الذين يقومون بإجراء التجارب، وتسربت الإشاعات إلى جميع أنحاء العالم، ثم فى منتصف يناير عام ١٩٨٣، أعلن روبيا فى الصحافة عن اكتشاف جسيم w .

جميع العلوم فى جوهرها هى بحث عن الوحدة ، ويدين المنهج العلمى بنجاحه الملحوظ إلى موهبة العالم فى ربط أجزاء المعرفة فى نسيج واحد. ويعد صنع علاقات قوية واحدا من أكثر جهود العلم المؤثرة والمرضية، فالعلاقة التى أوجدها نيوتن بين الجاذبية وحركة الكواكب أذنت بمولد عصر العلم ذاته ، والعلاقة بين الميكروبات والمرض وضعت الأساس لطب حديث كعلم حقيقى ، والعلاقة بين الخصائص الثرموديناميكية للغازات ، والاضطراب الفوضوى لجزيئاته وضعت أساس النظرية الذرية للمادة ، وفتحت العلاقة بين الكتلة والطاقة الطريق أمام الطاقة النووية .

وفى كل مرة تتشكل فيها علاقات جديدة، يتسع فهمنا للعالم الطبيعي، وتزداد سيطرتنا عليه. ويؤدى ظهور علاقات جديدة لما هو أكثر من مجرد توحيد مجموعة معارف ؛ فهو يفتح مسارات نحو ظواهر لم تتوقع حتى الآن. ولهذا السبب فالرابطة هى إيجاد معرفة وحافز يدفع الجهد العلمى نحو أنشطة جديدة ومهمة .

كانت الفيزياء الأساسية دائما تمهد الطريق نحو توحيد المعرفة ، غير أن ما حدث منذ أوائل السبعينات لم يضارعه مثيل . ويبدو أننا على عتبة توحيد أكثر قوة وأكثر عمقا من أى شيء حدث من قبل . وهناك اعتقاد متزايد بين الفيزيائيين بأننا بدأنا نتطلع إلى نظرية موحدة لكل القوى فى الكون.

حاول الفلكى البريطانى آرثر إدينجتون Arthur Eddington [1] على سبيل المثال ، بناء وصف شامل عن المادة والقوة والخليقة فى كتابه نظرية أساسية Fundamental Theory ، والذى نشر عام 1946 . ومع ذلك كانت أفكار أدينجتون الطموحة تشبه إلى حد كبير حلما شخصيا لعالم منعزل ، وربما إلى حد ما عالم غريب الأطوار . والآن وللمرة الأولى ، تقدمت كلا من النظرية والتجربة إلى الحد الذى يمكن من تقديم نظرية كاملة عن الكون ، ترتكز على افتراضات مقبولة يمكن اختبارها .

وجاء الحافز الأساسى لهذه القفزة الكبيرة المتقدمة من دراسة قوى الطبيعة الأساسية ؛ فقد شرحنا فى الفصل الخامس كيف تعرف الفيزيائيون على أربع قوى أساسية وهي: الجاذبية، والكهرومغناطيسية، والقوة النووية الضعيفة والقوة النووية الشديدة (أو قوة الجليون) . وفى خمسينيات القرن التاسع عشر ، قام ماكسويل بتوحيد الكهربية والمغناطيسية فى نظرية كهرومغناطيسية واحدة ، ثم بدأ آينشتاين فى العشرينيات القرن العشرين محاولة منتظمة لتوحيد الكهرومغناطيسية فى نظريته الجديدة عن الجاذبية النظرية العامة للنسبية (The general theory of relativity) .

وسرعان ما تغيرت المواقف والأفكار، فقد اكتشفت القوى النووية الضعيفة والشديدة ، ونتيجة لذلك كان على أية محاولة لتوحيد قوى الطبيعة أن تضم أربع قوى بدلا من قوتين أساسيتين . ومع ذلك ظل الاهتمام . لماذا يجب أن يكون هناك أربع قوى متميزة ؟ ظلت إمكانية وصف كل النشاط المادى من خلال قوة عظمى واحدة موحدة إمكانية تفرض نفسها بوضوح ، وإن كانت حلماً بعيداً إلى حد ما . واليوم لم يعد هذا الحلم بعيدا، فسرعان ما أصبح حقيقة .

وفى أواخر الستينيات ، اتخذت الخطوة الحاسمة على الطريق الحديث للوحدة. ففى ذلك الحين حظى الباحثون بنجاح غير مسبوق فى تطبيق نظرية الكم على المجالات. وقد ابتكر مفهوم المجال طوال قرن مضى، وقد برهن عليه فى نطاق واسع من التطبيقات العملية، مثل هندسة الراديو. وأدى اقتران ميكانيكا الكم بالمجال الكهرومغناطيسى بشكل مباشر إلى الكهروديناميكا الكمية (QED) بدقتها الفائقة وقوتها التنبؤية .

ولسوء الحظ، لا يمكن إدعاء نفس النجاح لقوى الطبيعة الثلاث الأخرى. فقد عجزت نظرية كم الجاذبية التى تنقل فيها رسل الجرفيتون قوة الجاذبية عن المضى بسبب تعقيدات رياضية، وظلت القوة الضعيفة تفتقر إلى الفهم الصحيح. ولم يقبل وجود جسيم Z الحامل للقوى، بينما لم يعط تقييم لعمليات الجسيم W بمفرده نتائج محسوسة ، إلا للأنواع البسيطة من الطاقة المنخفضة . كما أن تفاعلات القوة الشديدة لم تزل غير مفهومة بشكل واضح. وأصبح من الضرورى فى ذلك الحين اعتبار الهادرونات بشكل عام ، والبروتونات والنيوترونات بشكل خاص جسيمات أولية . فى حين لم تكن نظرية الكواركات قد رسخت بعد بصورة قوية. ومن الواضح أن القوى بين الهادرونات معقدة تماما، بيد أنه لم يكن هناك أحد يعرف مما تتكون البنية الداخلية للهادرونات .

ولذا ، تم فى الستينيات وصف كل قوة من قوى الطبيعة الأربع عن طريق نوع آخر من النظريات ، ومن هذه النظريات كانت نظرية الكهروديناميكا الكمية هى التى يمكن أن توصف بأنها ناجحة بقدر من المعقولية . وبدأ الباحثون يفكرون فى سر نجاح كهروديناميكا الكم . ما هى السمات التى يتمتع بها المجال الكهرومغناطيسى ولا تتمتع به مجالات القوة الأخرى ؟ وإذا أمكن التعرف على هذه السمات فقد يصبح من الممكن تعديل نظرية القوى الأخرى لدمج المكونات الأساسية.

2 - فضاء يعج بالنشاط :

لم يظهر أن الفضاء الفارغ **empty space** من الموضوعات الواعدة الجديرة بالدراسة ، على الرغم من أنه ينطوى على معرفة كاملة لقوى الطبيعة. ويمكن تصور فكرة الخواء **Vacuum** بسهولة . فهى منطقة من الفضاء أزيل منها كل شىء : كل الجسيمات وكل المجالات وكل الموجات . ومن الناحية العملية ، يستحيل الحصول

علـى خـواء سـليم ، فحتـى فـى الفضـاء الخارجـى هنـاك دائما بقايـا مـن الغـازات أو بلازما [2] Plasma ، بالإضافة إشعاع خلفية الكون الذى ظل باقيا منذ الانفجار العظيم. وعلى الرغم من هذا فلا زلنا ننظر إلى الخواء على أنه موجود بصورة مثالية .

وعندما بدأ الفيزيائيون دراسة نظرية كم المجالات ، اكتشفوا أن الخواء لم يكن على الإطلاق ما كان يبدو منذ أمد طويل – مجرد فضاء فارغ خال من المادة والنشاط. وبدت فيزياء الكم أنها قادرة على الخداع حتى فى غياب أية جسيمات كمية .

ويمكن اقتفـاء أثر مصدر الخداع فى مبدأ عدم اليقين لهايزينبرج ، لأنه يتعلق بسلوك الطاقة . وفى الفصل الثاني، شرحنا كيف يمكن أن يتوقف تأثير قانون حفظ الطاقة بسبب التأثيرات الكمية لفترة زمنية وجيزة جدا. وخلال هذه الفترة الوجيزة ، يمكـن اقتراض الطـاقـة لكافـة الأغراض ، والتى مـن إحداها تكويـن الجسيمات . وأية جسيمات تنتج بهذه الطريقة ستكون ذات أعمار قصيرة جدا، لأن الطاقة المرتبطة بها يجب أن تسترد بعد جزء ضئيل من الثانية. ومع ذلك ، يسمح للجسيمات بالخروج من أى مكان، وتتمتع بوجود سريع الزوال قبل أن تخبو مرة أخرى . وهذا النشاط السريع الزوال لا يمكن منعه. وعلى الرغم من أنه يمكن جعل الفضـاء فارغا بقدر الإمكان فسوف يكون هناك دائما حشد من هذه الجسيمات المؤقتة. ولا يمكن رؤية الجسيمات " الشبحية " المؤقتة ، برغـم أنها قد تترك آثار مادية لوجودها الوجيز . فهى بطبيعة الحال، شكل من أشكال الجسيم "التقديري"، يشبه الجسيمات حاملة القـوى ، ولكـن لا يوجـد شـىء "على أطراف الخط " لإرسـال واستقبال الرسـالة . إذا إنها تنتقل من خواء إلى خواء شاهدة على وجود مجال قوة، ولكن لا يوجد شىء دائم يدفعها نحوه .

ونتيجة لذلك، فما يبدو فضاءً فارغاً هو نشاط محتدم من جسيمات تقديرية . فالخواء ليس خاملا وبلا ملامح ، بل يموج بطاقـة وحيوية نابضـة بالنشـاط . وجسيم " حقيقى " كالإليكترون يجب أن ينظر إليه دائما مقابل هذه الخلفية من النشاط المستعر. فعندما ينتقل إليكترون فى الفضاء ، فإنه يبحر فى بحر من الجسيمات الشبحية من كافـة الأنـواع – لبتونات تقديـرية وكواركات وحاملات قوى مشتبكة فى معمعة معقدة. ويشوه وجود الإليكترون هذا النشاط الخوائى الذى لا يمكن إنقاصه، ومن ثم يرتد التشوه على الإليكترون. وحتى فى حالة السكون لا يكـون الإليكتـرون فى حالة سكون : فالجسيمات الموجودة فى الخواء تهاجمه على الدوام بكافة الطرق .

فإذا تبادل إليكترونان فوتونا حاملا للقوى ، لا تكون الصفقة سوى اضطرابا آخر وسط تبادلات للقوى موجودة بشكل سابق . وأى وصف دقيق للقوى بين الجسيمات يجب أن يأخذ فى الاعتبار كل هذه الكمات التقديرية الأخرى . وتتضمن المعايشة الكلية لجسيم معين فى وجود قوى المجال عمليات تتبادل فيها اثنان أو ثلاثة أو أكثر من الجسيمات حاملة القوى ، حيث تتفاعل الجسيمات حاملة القوى مع جسيمات الخواء، وحيث تتعلق جسيمات الخواء بالجسيمات المرسلة والمستقبلة. ويكون هناك عدد لانهائى من التفاعلات المحتملة، تحدث جميعا فى نفس الوقت .

والعملية التى يصفها شكل 14 ، هى مثال بسيط نسبيا لإحدى هذه العمليات المنظمة بشكل جيد . وتبعث أحد جسيمات الأصلية فوتونا تقديريا ، ينتج بدوره زوج إليكترون – بوزيترون. وحينئذ يتبادل أعضاء هذا الزوج فوتونا تقديريا آخر ، قبل أن يفنى أحدهما الآخر لتكوين فوتونا آخر تقديريا، والذى بدوره يمتصه الجسيم المستقبل . ومن الممكن أن يكون نفس هذا المخطط الكلى مجرد جزء من صورة أكثر اتقانا، لا يوجد فيها سوى جسيمان أصليان بصورة مؤقتة قبل أن يتحولا إلى شيء آخر .

ويجب أن نتصور التفاعلات بين كل الجسيمات على أنها ناتجة عن شبكة متزايدة التعقد ، تتكون من تبادلات معقدة أخرى بين أنواع مختلفة من الجسيمات التقديرية . وقوة المجال فى الحقيقة لا تثبت أبدا، فهناك دائما جسيمات شبحية، تجيء وتذهب، تظهر وتختفي، وتحاط بنمط خفاق بالطاقة .

وفى البداية ، يبدو وكأن التعقد اللانهائى لكل هذا النشاط لابد أن يبدد أية بارقة أمل لمعرفتنا بالقوى الحقيقية بين الجسيمات ، ناهيك عن حسابها. ولحسن الحظ ، فالحالة ليست كذلك، فقد يتضح من كهروديناميكا الكم أنه كلما تزايد تعقد العمليات يكون تأثيرها بالمثل ضئيلا على الجسيمات الحقيقية . وفى مثال استطارة الإليكترونين يأتى الإسهام الغالب من تبادل فوتون واحد حامل للقوى ، ولا تؤدى العمليات الأخرى إلا إلى تصحيحات صغيرة. وفى حساب عملي، من غير المعتاد النظر فى أكثر من ثلاثة أو أربعة من المخططات المبسطة إلا إذا كانت هناك حاجة إلى دقة عالية جدا .

تخيل إلقاء جسيما جديدا فى هذا البحر المتأجج بالنشاط الخوائي، فعلى الفور ، يغلف الجسيم الجديد نفسه بستارة من الطاقة المتأججة . ولا يمكننا رؤية هذه الستارة

من الطاقة بشكل مباشر ، لكن دعنا نعتقد أن لدينا ميكرسكوبا سحريا يستطيع استكشاف كل الكمات التقديرية. وبالنظر خلال الميكروسكوب نرى فى المركز، الجسيم "العارى" ، الذى سنفترض أنه إليكترون . وتحتشد فى الأهداب الخارجية من السحابة المحيطة به ، فوتونات منخفضة الطاقة ، وتسبر الفضاء بحثا عن الإليكترون ، وتشتبك مع الخواء شبه الشبحى وتندمج فى البحر المتحرك بالكمات التقديرية التى تسرى فى الفضاء كله .

وكلما سبرنا أعماق السحابة، تظهر الفوتونات التقديرية أكثر نشاطا، ونشاطها أكثر تأججا . وتتحول بعض الفوتونات أحيانا إلى أزواج من الإليكترونات والبوزيترونات ، التى تندمج مرة أخرى أيضا بسرعة لتعيد إليكترونا. وأحيانا يحدث تبادل أكثر تعقيدا، إذ يتضمن على جسيمات تقديرية أخرى . وإذا اقتربنا من الإليكترون نجد أن السحابة نابضة بالطاقة . وهنا تمتزج الجسيمات الأثقل بصورة غير مترابطة مع الفوتونات ؛ ويمكننا رؤية كواركات، ولبتونات خفيفة وجسيمات حاملة للقوى من كافة الأنواع .

ومع زيادة قدرة الميكروسكوب ، نلاحظ ارتفاع الطاقة بسرعة فى السحابة كلما اقترب الإليكترون ، ارتفاع يبدو أنه بلا حد. ويبدو أن هناك كارثة خطيرة .

3 - نجاح نظرية كهروديناميكا الكم :

يقال أحيانا أنه تتولد من كل أزمة من أزمات العلم نظرية جديدة ؛ فالأزمة التى يكشف عنها ميكروسكوبنا التخيلى هى مظهر لخلل متأصل فى مفهوم المجال . وبرغم أوجه النجاح الرائعة التى حظيت بها نظرية كم المجالات، إلا أنها فشلت بشكل مزرى فى إحدى النقاط الأساسية .

ويمكن إرجاع مصدر الصعوبات إلى الفيزياء الكلاسيكية. فكوكباً كالأرض يحدث مجالا جذبيا، يؤثر، على سبيل المثال،على القمر. بالإضافة إلى ذلك، يؤثر مجال الأرض على الأرض نفسها . والمادة التى تحت أقدامنا تمسكها جاذبية الأرض بنفسها . ويبدو مثل هذا التأثير الذاتى نتيجة حتمية لنظرية المجال **Field Theory** .

كان المعتقد فيما مضى أن جسيما كالإليكترون يمثل صورة مصغرة من الأرض ، كرة صلبة صغيرة تتوزع بداخلها بانتظام شحنة كهربية . وكما أن الأرض تؤثر على نفسها بواسطة الجاذبية ، فكذلك يجب أن يؤثر الإلكترون على نفسه بواسطة

القوى الكهربية. ومع ذلك تختلف الحالتان فى أحد الأوجه المهمة : فالجاذبية تشد Attractive وتضم الأرض نحو بعضها البعض ، والقوى الكهربية داخل الإلكترون قوى طاردةRepulsive، تعمل على تمزيق الإليكترون إلى أجزاء متناثرة. ولهذا السبب تنشأ هناك المشكلة المحيرة لما يمكن أن تقدمه القوى الأخرى لإبطال مفعول الطرد الكهربي، وبذلك تجعل من الإليكترون كيانا متماسكا.

وبقدوم نظرية النسبية، كانت مشكلة وضع نموذج قياسى للإليكترون على أساس أنه كرة صلبة صغيرة تواجه مشكلة ضخمة، لأنه كانت هناك صعوبة أخرى تتعلق بفرضية أن الإليكترون عبارة عن جسم صلب Rigid body . تخيل ضرب كرة مستديرة ضربة حادة بحيث تجعلها تطير فى أحد الاتجاهات. فلو كانت الكرة صلبة تماما، فسوف تتحرك دون أن يتغير شكلها. ولكى يحدث هذا، يجب أن تتحرك كل أجزاء الكرة فى نفس اللحظة. غير أن ذلك يتنافى مع المبدأ القائل بأنه لا يوجد تأثير يمكنه أن ينتقل أسرع من الضوء، فجزء الكرة البعيد عن نقطة الاصطدام لا يعرف شيئا على الإطلاق عن الضربة، وعلى ذلك لن يستجيب لها، إلى أن يمضى الوقت الذى تنتقل فيه موجة الصدمة Shock Wave داخل الكرة – التى لن تكون أسرع من الضوء. وعلى العكس، فإن جزء الكرة القريب من نقطة التصادم يجب أن يتحرك قبل بقية الكرة. وعلى ذلك، تغير الكرة من شكلها؛ فلن تصبح صلبة تماما . ولكن إذا أمكن ضغط الإليكترون وسحقه، فيمكن أن يتفرق إلى أجزاء؛ ولن يصبح جسيماً أولياً على الإطلاق. ويجب أن نتوقع رؤية قطع وأجزاء من المادة المشحونة بكل الأشكال والأحجام، وفى حقيقة الأمر ،لا يمكن تمييز الإليكترونات .

ولتفادى هذه المعضلة، اضطر الفيزيائيون إلى التخلى عن اعتبار الإليكترون كرة صلبة. وبدلا من ذلك، اعتبروه نقطة بلا بنية ليس لها امتداد على الإطلاق. وعلى الرغم من أن هذا قد خفف من مشكلة كيفية تماسك أجزاء الإليكترون الداخلية ببعضها البعض، فقد جلبت معها صعوبات أخرى. ونشأت الصعوبة هذه المرة من المجال المحيط بالإليكترون، فالقوة الكهربية لجسم مشحون تتضاءل مع البعد وفقا لقانون التربيع العكسي. وعلى العكس ، تتعاظم قوة المجال بالقرب من المصدر. وفى حالة اعتبار المصدر مجرد نقطة Point ، ترتفع قوة المجال بدون حد كلما اقترب المصدر. وهذا يعنى أن الطاقة الكهربية الكلية للنظام لانهائية .

ويبدو أن وجود طاقة مجال لانهائية تصاحب الإليكترون الذى اعتبرناه نقطة تسدد ضربة قاضية لنظرية المجال. فإذا اكتسب الإليكترون طاقة غير محدودة فسوف يصبح ثقيلا إلى حد كبير ، الأمر الذى يعد منافيا للعقل. وبدت علامات الاضطراب على وجوه الباحثين : فإما أن يتجاهلوا نموذج الإليكترون النقطة ، أو يجدون مخرجا من هذا المأزق. وقد وجد المخرج، على الرغم من أنه بدا لبعض الناس شيء من الخداع . وقد عرف هذا المخرج " بإعادة المراجعة طبقاً للنموذج القياسى أو المعيارى " renormalization .

تخيل أننا نستطيع بشىء من السحر " إزالة " الشحنة عن إليكترون. فالمجال المنبعث منه سيختفى ، وستذهب معه الطاقة الكهربية . وسنجد أنفسنا أمام ما يصطلح عليه بـ فوتون " عارى " ، متجرد من المجال الكهرومغناطيسى المغلف له . وقد يسأل أحد ما هى كتلة هذا الإليكترون المكشوف . تتكون الكتلة المرئية لإليكترون حقيقى من شيئين : كتلته العارية بالإضافة إلى كتلة الطاقة الكهربية المتولدة من المجال . ومصدر الحيرة هو أن جزءا من الطاقة الكهربية محسوب على أنه لا نهائى . ومن الواضح أن هذا محض هراء إذا استطعنا منع الشحنة الكهربية عن الإليكترون ، حيث لا يمكن لأى كمية فيزيائية أن تتغير بمقدار لا نهائى . ومع ذلك ، لا يمكننا إجراء ذلك. فالشحنة لا يمكن منعها. وعندما نلاحظ إليكترون ، فإننا ندرك الحزمة كاملة ، المجال والكل . والكتلة المرصودة هى ، بالطبع محدودة . ولذا هل من الواجب أن نقلق إذا دلتنا حساباتنا على أن جزءا لا ينفصل من كتلة الإليكترون يعتبر من الناحية الرياضية لا نهائى ؟

الإجابة هى أن بعض الناس يقلقون، ولكن ليس بدرجة خطيرة. فوجود حدود لانهائية فى النظرية هو علامة تحذير على أن هناك شيء خطأ ، ولكن إن لم تظهر اللانهائيات فى كمية ملحوظة فيمكننا أن نهملها ونستمر فى الحساب. وللقيام بهذا يجب أن تستبعد اللانهائيات من الحساب بطريقة ما حتى يمكننا الاستمرار فى الحساب. وفى الواقع يقوم الباحث ببساطة بضبط أو إعادة المراجعة طبقا للنموذج القياسى لنقطة الصفر على المقياس المستخدم لقياس الكتلة بواسطة مقدار محدود . أنها أكثر شبها بالموافقة على قياس ارتفاع طائرة من مستوى سطح الأرض بدلا من قياس ارتفاعها من مستوى سطح البحر، فقط فى حالة إلكترون يكون التغير المستخدم كمية لانهائية. ويفسر الباحث أنه غير مهم طالما لا توجد نقطة صفر وهبها

الله علـى مقـياس الكتلة بأيــة حـال ؛ فـأى تغـير فى اختيـارنا – حتى لو كـان تغـيرا لا نهائيا – لن يلاحظ فى العالم المادى الحقيقي .

وبهذه البراعة الرياضية ، أمكن تخليص وصف الإليكترون من الحدود اللانهائية التى هددت فى البـداية تحـويل النظرية إلى عـبث. ومع ذلك لا تزال هناك مـصــاعب أخرى، عندمـا يجرب الوصف الكمى لإليكترون فى حجم النقطة. وتتعلق المشكلة الآن بطبيعة الفوتونات التقديرية **Virtual Photons** .

بعد رأينا كيف يغلف كل إليكترون بسحابة من طاقــة الكم الوامـضـة المتكونـة من كل أنواع الجسيمات التقديرية، دعنا نلقى الآن نظرة فـاحصـة على مسـبب هذه السحـابة. ففى البداية، تم إدخال الفوتونات التقديرية كوصف كمي عن كيفية تبادل الإليكترون الإشـارات مع إليكترون آخـر يرغب فى توليد قـوة. ومع ذلك فـمن الممكن لإليكترون وحيد أن يؤثر على نفسه عن طريق فـوتونات تقديرية. ويوجـد فى النظرية الكلاسيكية هذا التـأثير الذاتي، ويحدث حدود لا نهائية إذا اعتبر الإليكترون على أنه يشبه نقطة . ويعنى وصف كمى لتـأثير ذاتـي، أن إليكترونا يرسل فوتونا حاملا للقوى إلى نفسـه. ويوضح شكل 15 ، المخطط الذى يصـور هذا التـأثيـر الذاتى . أنه يوضح فوتونا تقديريا ينبعث من إليكترون ويتخذ طريق مختصر فى الفضاء، وبعد ذلك يعود ويمتصه نفس الإليكترون. وفكرة أن فوتونـا يلتفت هنـا وهناك يعد مفاجـأة ، ولكن على المرء أن يتذكر أن الأفكار البديهية لا توجد فى مجال الكم الذى يكون فيه التمرد السمة السائدة .

ولهـذا السـبب ، فـفى الوصف الكمى لإليكتـرون ، يجب النظر إلى المجـال الكهرومغناطيسى المغلف للجسيم على أنه حاشية من فوتونات تقديرية تطنطن حول الإليكترون وتتعلق به وتكون سحابة ثابتة من الطاقة . وتذهب الفوتونات وتجيء بسرعة كبيرة. وتلك الفوتونات التى تبقى بجوار الإليكترون بالقرب من مركز السحـابة تحمل طاقة وفيرة؛ وفى حقيقـة الأمر، عندمـا يتم حساب الطاقة الكلية لسحـابة الفوتون ، يتضح مرة أخرى أنها لا نهائية .

وعندما تتضح للباحث هذه النتيجة، يستطيع أن يستمر فى "إعادة مراجعة " الطاقة اللانهائية دونما انقطاع، كما حدث بالفعل فى النظرية الكلاسيكية. ومع ذلك،

فهذا لن يكون من الأمور البسيطة . فالأنشطوة الموضحة بشكل 15 ، ما هى إلا عملية واحدة ممكنة، يستطيع الإليكترون بواسطتها أن يؤثر على نفسه. ويمكن تصور المزيد من أنشوطات التأثير الذاتى ، كتلك الحلقة المبينة فى شكل 16 ، على سبيل المثال. وهنا يكون الفوتون حامل القوى زوجا تقديريا من إليكترون – بوزيترون فى طريقه حول الأنشوطة . ومن الواضح أنه كلما درسنا المزيد والمزيد من الأنشوطات المعقدة ، فلا توجد نهاية لعدد الطرق الكلية التى يستطيع أن يؤثر بها إليكترون على نفسه بواسطة الجسيمات حاملة القوى . والآن تساهم كل أنشوطة من هذه الأنشوطات بمقدار طاقتها اللانهائى فى النظام. وتنتج كل شبكة من الأنشوطات طاقة لا نهائية. وبدلا من الاكتفاء بمجرد لانهاية واحدة كما هو الحال فى النظرية الكلاسيكية ، يوجد حاليا سلسلة لا نهائية من الحدود اللانهائية فى الحساب. وفى كل مرحلة يمكننا التخلص من اللانهائية من خلال طرح حد لانهائى بطريقة مصطنعة، لكنه بمجرد قيامنا بهذا تظهر لانهائية أخرى بشكل مفاجئ ، ويبدو أنه لا يوجد مفر .

إزاء هذا الأمل اليائس يحدث ما يشبه المعجزة . وعندما تتجمع هذه السلسلة الرهيبة من الحدود اللانهائية بالطريقة الصحيحة (إذا تحدثنا بطريقة رياضية) فقد يظهر أنه يمكن التخلص من المقدار برمته دفعة واحدة . فطرح لا نهائى واحد أو إعادة تطبيع لا نهائية واحدة يمسح كل لانهائية مهما كانت صعوبة الأنشوطة التى تنتجها . وبالطبع ، كان إيضاح نجاح هذه الأعجوبة شيئا من الأعمال المبدعة الدالة على القوة عندما استنبطت منذ ثلاثين عاما مضت. وبدونها كانت ستؤول النظرية إلى شيء من السخف .

ومن الطبيعى أن يبتهج الباحثون بهذه النتيجة . فمن الجميل أن نعرف أن شيئا يعمل بصورة حقيقية، وأنه لم يعد هناك شيء غامض فى الطريقة التى تتفاعل بها الإليكترونات والفوتونات . إنهم يطلقون على كهروديناميكا الكم نظرية " إعادة الشيء إلى طبيعته السوية"، ومضوا فى تأكيد تلك التأثيرات البسيطة التى نجمت بسبب الجسيمات التقديرية، والتى تم التحقق منها عن طريق التجربة، مثل التغير فى مستوى طاقة ذرة هيدروجين الذى قاسه لامب Lamb ، والتصحيح البسيط للمجال المغناطيسى للإليكترون . وأظهر الاتفاق الفريد بين النظرية والتجربة على هذا المستوى من التفصيل

أن تأثير كل هذه الجسيمات التقديرية وكذلك تأثيرات الفراغ ، ليست مجرد ابتكار باحث ، أو مجرد خيال. فقد كانت تحتاج فى الحقيقة إلى وصف دقيق للعالم الذرى .

وعندما تشجع الباحثون بهذا النجاح الملحوظ، وجهوا انتباههم إلى قوى الطبيعة الأخرى ليروا إن كانت حيلة إعادة التطبيع ستنجح معها أيضا. فكل مجال قوة يولد مجموعته الخاصة من الطاقات اللانهائية (بالإضافة إلى كميات لانهائية أخرى) . وكان الأمل منعقدا على أن أعجوبة إخفاء اللانهائيات الموجودة فى الكهروديناميكا الكمية ستنجح مع هذه القوى أيضا.

ومن المؤسف، إن هذا الأمل لم يصب الهدف ، فلم توجد من بين قوى الطبيعة الأربع سوى الكهرومغناطيسية يبدو أنها تتضمن على خاصية سحرية للقدرة على إعادة التطبيع . والجسيمات الحاملة للقوى الأخرى - كما تصورت فى ذلك الحين - ولدت لانهائيات غير محدودة، لم يجر التخلص منها بالجملة كما حدث مع الكهروديناميكا الكمية. وعاد الباحثون إلى مكاتبهم لمحاولة فهم سر نجاح الكهروديناميكا الكمية. وسرعان ما أصبح من الواضح أن كل شيء له علاقة بالتماثل Symmetry .

4 - التماثل يحدد الطريق الصحيح :

ألف المؤرخ والكاتب الانجليزى تشارلز بيرسى سنو C.P.Snow كتابا عن " الثقافتين " ، قسم فيه المجتمع التكنولوجى الحديث - إلى مجتمع علمى وفنى . بيد أن العديد من العلماء لهم حاسة تذوق فنية حساسة. فهم يستمتعون بالرسومات والتماثيل ، وغالبا ما يلعبون على آلات موسيقية بقدرات غير عادية ، ويميلون إلى أن يكون لديهم تقدير عميق بالطراز والجمال . وبالنسبة للباحثين خاصة ، يمكن أن يكون العلم ذاته شكل من أشكال الفن، توليفة متقنة من الرياضيات والمعجزة .

رأينا فى الفصل الرابع، كيف يلعب التقدير الجمالى جزءا مهما فى التقدم العلمي. ومن بين الأمثلة الأكثر نجاحا لهذا هو تطبيق التماثل من خلال حس عام بدرجة كافية على الفيزياء الأساسية. وبالفعل، ففى السنوات الأخيرة، برهن تماثل الحظ السعيد على قوته لدرجة أنه استحوذ على الفكر فى جميع حقول البحث . ويبدو من المؤكد حاليا أن التماثل هو المدخل الصحيح لفهم لقوى الطبيعة. ويعتقد الفيزيائيون حاليا أن كل القوى توجد ببساطة لكى تمكن الطبيعة من الإبقاء على مجموعة من التماثلات المجردة فى العالم .

ما الذى يمكن أن تلعبه القوة مع التماثل ؟ يبدو أن الاقتراح محير وغامض . فالقوة هى شيء يقوم بدفع المادة وجذبها، أو تحويل كيانات الجسيمات. والتماثل مفهوم مختلف تماما، يتعلق بالتناسق وبساطة الشكل.

ولإيجاد إجابة عن هذا السؤال، دعنا أولا نكرر النقاط الرئيسية لما يعنيه التماثل . وبالمعنى الأوسع ، يكون الشيء متماثلا إذا ظل دون تغير تحت ظروف عملية معينة . فالدائرة متماثلة لأنها تظل كما هى عندما تدور بأية زاوية حول محورها . وعقد الكاتدرائية متماثل لأنه يظل دون تغيير إذا انعكس يمينه إلى يساره حول محور رأسى من مركزه . وقوانين الكهربية متماثلة تحت ظروف الشحنة الموجبة والشحنة السالبة ، وهكذا .

والتماثلات التى تشكل الأساس فى معرفتنا بالقوى الأربع هى تماثلات من نوع خاص، تعرف بالتماثلات القياسية gauge symmetries . وفى الفصل الرابع قدمنا بعض الأمثلة البسيطة لهذه التماثلات المجردة، مثل ثبوتية قوانين الميكانيكا للتغير فى مستوى صفر الارتفاع. وتتعلق التماثلات القياسية بفكرة إعادة قياس مستوى أو منسوب أو قيمة بعض الكميات الفيزيائية، ويتضمن النظام على تماثل قياسى إذا ظلت طبيعته المادية دون تغيير فى ظل هذا التغير. دعنا الآن نرى، من خلال مثال بسيط، كيف يمكن أن ترتبط فكرة بسيطة عن إجراء تغيير قياسى بالفكرة الأكثر واقعية لقوة فيزيائية .

تخيل أنك جالس فى مركبة فضائية تحلق بك فى أعماق الفضاء، بعيدا جدا عن أى كوكب أو جرم سماوى تندفع بسرعة ثابتة فى حركة مستقيمة . فلن تشعر بأية قوى على الإطلاق ولن تشعر بالحركة. ستشعر أنك عديم الوزن تماما وتسبح فى الفضاء بحرية. وهذه صورة بسيطة من السهل تخيلها .

والآن نرغب فى إجراء "تغيير قياسى " Gauge Change لهذا السيناريو، أى أننا نرغب فى تغيير الوصف عن طريق إعادة قياس أو إعادة تحديد كمية، وهى فى حالتنا هنا المسافة. افترض أن المركبة الفضائية تطير بسرعة ثابتة فى الفضاء، ولكن على طول مسار مواز يبعد كيلومتراً واحدا عن المسار الأصلي. ماذا يعنى تغير قياسى كهذا بالنسبة للمسافر فى المركبة الفضائية؟ لن يعنى شيئا، إذا ما كانت القوى مأخوذة فى الاعتبار. فسوف يكون شعور المسافر هو نفس شعوره كما فى السيناريو السابق . وإذا توخينا الدقة، فإن سلوك الأشياء الفيزيائية من حوله سيكون مستقلا

تماما عن أى مسارات حركة فى اتجاه مستقيم تتبعها المركبة. ومن الواضح أن هناك تماثل متضمن فى هذا المثال. ويمكن أن يعبر عنه بالقول بأن قوانين الفيزياء تظل دون تغيير فى ظل أى تحول أو تغير فى تقدير المسافة. وحتى الآن لم تدخل القوى الصورة بشكل حقيقى .

وعند حدوث التغير القياسى يظل مسار المركبة الفضائية خطا مستقيما. والتغير الذى طرأ على المسافة هو نفسه فى كل النقاط على طول مسارها. وعندما نعبر عن ذلك بطريقة مختلفة، فإن التغير القياسى كان كما هو فى كل مكان، ذلك المفهوم الذى يعرفه الفيزيائيون بالتحول القياسى "العالمي" Global . وصفة العالمية صفة مهمة:فإن كان التقدير المعاد سيتغير باستمرار على طول مسار المركبة الفضائية، فسوف يكون التقدير المعاد حينئذ خطا متموجا. والمركبة الفضائية المبرمجة لاتباع هذا المسار يجب عليها أن تستمر فى تشغيل محركاتها، وعندما تسير فى خط متعرج بصورة عنيفة فسوف يتدحرج المسافر هنا وهناك فى أرجاء المركبة . سوف يستشعر بالقوة . وسوف يتشوه سلوك الأشياء الفيزيائية من حوله فى المركبة بسبب مناورة المركبة . وتعرف التغيرات القياسية التى تتغير من مكان لآخر بالتحولات القياسية "المحلية" Local . ومن الواضح تماما أن قوانين الفيزياء ليست ثابتة فى ظل التحولات القياسية المحلية ، التى تجعل مسار المركبة الفضائية منحنيا، وتجعل المسافر يشعر بعدم الراحة. وإلا فما السبب ؟

لنأخذ حالة بسيطة، افترض أنه بعد إعادة القياس تم برمجة المركبة الفضائية على أن تطير فى دائرة بسرعة ثابتة. يشعر المسافر بتكور مسار الحركة لأنه لم يعد عديم الوزن، فلم يعد يطفو بحرية بعد الآن . وبدلا من ذلك، ينضغط نحو جدران المركبة بسبب قوة الطرد المركزي. والفيزياء داخل هذه الكبسولة المتحركة حركة دائرية تختلف تماما عن الفيزياء فى كبسولة متحركة بشكل منتظم فى خط مستقيم .

تخيل أنك الآن هذا الراكب الفضائى تطوف دورة تلو أخرى فى فضاء فارغ. سوف تشعر بالنعاس وعندما تستيقظ ، تجد نفسك عديم الوزن مرة أخرى . " آه " ، " لابد وأن المركبة الفضائية عادت إلى الطيران فى خط مستقيم." وتطل من النافذة وترى لدهشتك أن النجوم تطوف حولك. كيف يمكن أن تكون عديم الوزن ولا تزال تتحرك فى دائرة ؟ إن نظرة خارج النافذة فى الجانب المقابل من المركبة الفضائية يكشف سبب ذلك:أنك فى مدار دائرى حول كوكب .

وتكون أكثر المشاهد متعة للطيران الحقيقى فى الفضاء عندما يطفو مسافرو الفضاء وهم عديمو الوزن Weightless عند طوافهم بمدار حول الأرض . ولا يمكن تمييز تجاربهم فى هذه الحالة عن تجارب راكب فضاء ينطلق بعيدا فى فضاء ما بين النجوم فى مسار إلى النجوم بسرعة ثابتة. إذن هناك قانوناً غامضاً من قوانين الطبيعة: الفيزياء فى مسار منحنى حول كوكب هى نفس الفيزياء فى خط مستقيم فى الفضاء البعيد. والسبب واضح: تتعادل جاذبية الكوكب بشكل دقيق مع تأثيرات تكور مسار المركبة الفضائية. ويقول الفيزيائيون أن الجاذبية هى "مجال مكافئ" Compensating Field ؛ فيمكنها أن تعوض بدقة انحراف نظام من الحركة فى خط مستقيم. وبالطبع، فقد اخترنا مثالا بسيطا، وهو بالتحديد الحركة الدائرية. وللتعويض عن مركبة فضائية متحركة فى خط متعرج، سنحتاج إلى مجال من الجاذبية أكثر تعقيدا، لكن النقطة هى أنه أيا كان المسار الذى تتخذه المركبة الفضائية، فمن الممكن تصور مجال جاذبية يبقى على راحة المسافرين وانعدام وزنهم. ويمكن جعل الجاذبية دائما من حيث المبدأ تنقل الصدمة العنيفة بعيدا عن مسار غريب الأطوار .

والنتيجة التى نخرج بها من هذه القصة، وهى نتيجة عميقة بلا شك: إن قوانين الفيزياء يمكن جعلها متماثلة حتى فى ظل التحولات القياسية المحلية فى المسافة على شرط أن يتم إدخال مجال جذبى للتعويض عن التغيرات من مكان إلى مكان. ويفضل الفيزيائيون أن يغيروا هذا القول ويقولون أن مجال الجاذبية هو أسلوب الطبيعة للحفاظ على تماثل قياسى محلي، وهى حرية إعادة تقدير قياس المسافة بشكل محكم من مكان لمكان. وفى غياب الجاذبية، لن يكون هناك سوى تماثل عالمي؛ فلا يمكننا أن نحول مسار خط مستقيم إلى آخر دون تشويه للفيزياء. وبواسطة الجاذبية يمكن أن نتحول إلى أى شكل من أشكال المسارات أيا كانت دون تغيير الفيزياء. وتذكر أن التماثل هو الثبات وعدم التغيير أثناء التشغيل . والتماثل المستخدم هنا هو ثبات الفيزياء فى ظل تغييرات عشوائية فى شكل مسار الحركة. وباتباع هذا الأسلوب تكون قوة الجاذبية ببساطة مظهرا لتماثل مجرد –تماثل قياسى محلي– يؤسس فيزياء العالم .

إن قوة مفهوم التماثل القياسى هو أنه لا يشمل الجاذبية فقط وإنما كل قوى الطبيعة الأربع يمكنها أن تتولد بهذه الطريقة. ويمكن اعتبارها جميعا "مجالات قياسية ". وفى وصف كمى لمجالات قياسية مقترنة بجسيمات المادة ، يجب أن يتسع مفهوم التغيير القياسى كثيرا ويرتبط بمرحلة موجة الكم التى تصف جسيم. ولسنا

بحاجة إلى الدخول فى التفاصيل الفنية هنا. والنقطة الأساسية هى أن الطبيعة تعرض عددا من التماثلات القياسية المحلية، وتضطر إلى إدخال مجالات قوى عديدة لتعويض التغيرات القياسية المتضمنة. ويمكن النظر لمجالات القوى على أنها أسلوب الطبيعة لفـرض تماثلات قـيـاسـيـة على العـالم. ومن وجـهـة النظر هذه ، فـالمجـال الكهرومغناطيسي،على سبيل المثال، ليس ببساطة نوع خاص من مجالات القوة التى يتصادف أن توجد. أنه بالفعل دليل على أبسط التماثلات القياسية المعروفة التى تتوافق مع مبادئ النسبية الخاصة. وتماثل التحولات القياسية فى هذه الحالة التغيرات فى "الڤولت" من مكان لآخر .

ومـن المثـير للاهتمـام الظـن بـأن الفيزيـائى النظـرى الـذى لا يعرف شيئا عن الكهرومغناطيسية، لكنه يعتقد بحكمة أن الطبيعة متمسكة بفكرة التماثل ، يمكن أن يستنبط وجودها كليـة من المتطلـبات المزدوجة للتماثـل القياسـى المحلى الأبسـط ، وما يسمى بتماثل لورنتز-بوانكيريه للنسبية الخاصة الذى قابلناه فـى الفصل الرابع . وباستخدام الرياضيات فقط، ومسترشدين بهذين التماثلين القويين، يستطيع الفيزيائى إعادة إنشاء معادلات ماكسويل دون أن يجرى تجربة تتضمن الكهربية أو المغناطيسية، أو حتى الشك فى وجودها! فمن المحتمل أن يجادل بأنه، لما كانت التماثلات المشتملة من أبسط الأشكال وأكثر أناقة، سيكون من غير الطبيعى لو أن الطبيعة لم تفد نفسها منها. ومن خلال هذا المنطق المجرد الصرف ، فإن الفيزيائى النظرى سوف يحمل على توقع أن الكهرومغناطيسية موجودة فى العالم الحقيقي. وقد يمكنه أيضا أن يمضـى فى استنباط كل قوانين الكهرومغناطيسـيـة، والموجات الراديوية وإمكانيـة محـرك الدينامو، ألخ ، التى اكتشفت فى الحقيقة بواسطة تجارب عملية. إنها قوة التحليل الرياضى فـى وصـف العالـم والتى يمكـن أن تؤدى إلى التكهـن بالسمات التى ربما لم يبدو أننا شككنا فيها بالفعل من قبل .

ويتضح أن مفهوم التماثل القياسى أبعد كثيرا من أن يكون مجرد استحسان لأناقة رياضية، فهو المدخل لوضع نظريات كمية للقوى خالية من الحدود اللانهائية الهدامة، والتى ناقشناها فى القسم السابق. ويتضح أن التغيـر القياسى ، يرتبط بصورة وثيقة بالقدرة على إعادة التطبيع. ويمكن تتبع أثر أعجوبة الكهروديناميكا الكمية فى بنية التماثل البسيط والبعيد الكامن فـى المجـال الكهرومغناطيسـى . وهذا يوحى بأن المصاعب التى تقابل فى الوصف الكمى لمجالات القوى الثلاثة الأخرى

تكمن فى فشل تحديد المدى الكامل للتماثلات المتضمنة فيها. وعلى سبيل المثال ، إذا أمكن صياغة القوة الضعيفة كمجال قياسى أيضا، فإن وصفا كميا ناجحا لهذه القوة يكون متاحا أيضا .

ومع ذلك ، يبدو من النظرة الأولى أن عقبة كبيرة تقف فى مسار خط هذا التقدم. ومن إحدى سمات المجالات القياسية ،أنها طويلة المدى. وتتطلب حرية إجراء تغيرات قياسية مجالات قوة تعويضية يمكنها أن تؤثر فى كل مكان فى الفضاء. وهذا رائع بالنسبة للجاذبية والكهرومغناطيسية التى تصل قوتها عبر الفضاء، وتحدث تأثيرات على الأجرام البعيدة، فى حين أن القوة الضعيفة قصيرة المدى. وفى لغة الكم، يعتبر الجرافيتون والفوتون عديمى الكتلة، فى حين أن الجسيمات حاملة القوى الضعيفة W و Z ضخمة جدا. ويتضح أن هذا قضى على أى وصف مجال قياسى للقوة الضعيفة. ومع ذلك، ففى الستينيات، اكتشفت ثغرة فى هذا الاعتراض، وأحدثت الفيزياء إحدى قفزاتها الدورية العظيمة للأمام .

الهوامــش

(1) السير آرثر ستانلى أدينجتون (1882 - 1944) : عالم فلك بريطاني،عرف بدراساته فى نشوء النجوم وتطورها.

(2) بلازما: حالة المادة التى تتفتت فيها الذرات كليا إلى نوى موجبة وإلكترونات سالبة . ويمكن اعتبار البـلازمـا خليطا من غـاز مكـون مـن النويـات مـع غـاز مكون من الإلكتـرونات. ويتـحـقق النزع الكامل لإلكترونات الذرات الخفيفة عند درجة حرارة حوالى 100000 مئوية .

الفصل الثامن

حلم توحيد ثلاث قوى

1- توحيد قوتين فى الكون :

سوف يعود المؤرخون بذاكرتهم إلى فترة السبعينيات ويعتبرونها الفترة التى اكتشف فيها العلماء أنه لا توجد سوى أربع قوى للطبيعة رغم كل شيء ، فالقوة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Force والقوة الضعيفة (1) Weak Force المختلفتان تماما فى طبيعتهما من الظاهر ولكنهما فى حقيقة الأمر وجهان لقوة واحدة تسمى القوة الكهروضعيفة electroweak force، والتى لم يشك أحد فى أنها موجودة على الإطلاق .

وكان توحيد مجال هاتين القوتين تقدما تاريخيا على طريق قوة عظمى. قام ماكسويل بالخطوة الأولى قبل مضى قرن ، عندما وحد الكهربية والمغناطيسية. وكانت نظرية الكهروضعيفة فى شكلها الأخير إلى حد كبير من عمل رجلان عمل كلاهما بصورة مستقلة، وهما ستيفن واينبيرج Steven Weinberg من جامعة هارفارد وعبدالسلام Abdus Salam من الكلية الملكية بلندن، بيد أنهما أسسا نظريتهما على بحث سابق قام به شيلدون جلاشو Sheldon Glashow ، وقد أثرت نظريتهما بشكل قوى على شكل فيزياء الجسيمات فى السنوات التى أعقبت ذلك .

وقوام نظرية عبدالسلام وواينبيرج هو وصف للقوة الضعيفة على أساس مجال قياسى gauge field. وكان يجب أن تتخذ هذه الخطوة أولا قبل أن يوجد أى أمل فى التوحيد. وفى الفصل السابق، رأينا كيف كان مفهوم التماثل القياسى هو العنصر الأساسى لصياغة نظرية للقوى خالية من مشاكل الحدود اللانهائية .

ولمعاملة القوة الضعيفة كنظرية مجال قياسى ، يجب أن نعتقد أن كل الجسيمات التى تتأثر بالقوة الضعيفة تعمل كمصادر لنوع جديد من المجال - مجال القوة الضعيفة - على الرغم من أننا لا نلاحظ هذا المجال بشكل مباشر. وتحمل

الجسيمات المتفاعلة بصورة ضعيفة، مثل الإليكترونات وجسيمات النيوترينو "شحنة ضعيفة" تماثل الشحنة الكهربية التى تربط هذه الجسيمات بالمجال الضعيف .

وإذا ما اعتبر مجال القوة الضعيفة مجال قياسى (أى كطريقة للطبيعة للتعويض عن التغيرات القياسية المحلية بشكل من الأشكال)، فالخطوة الأولى هى اكتشاف الشكل الصحيح للتماثل القياسى المتضمن. وقد رأينا من قبل أن الكهرومغناطيسية اتخذت لنفسها التماثل القياسى الأبسط Gauge Symmetry ومما لا يثير الدهشة أن للقوة الضعيفة تركيب تماثل أكثر تعقيدا عن القوة الكهرومغناطيسية لأنها تعمل بطريقة أكثر تعقيدا . وفى مثال انحلال النيوترون يتضمن القوة الضعيفة ما لا يقل عن أربعة أنواع مختلفة من الجسيمات(النيوترون والبروتون والإليكترون والنيوترينو)، ويؤدى هذا التفاعل إلى تحولات فى الهوية بين هذه الجسيمات. وفى المقابل، لا يؤثر المجال الكهرومغناطيسى على هويات الجسيمات الأصلية .

وهذا يدلنا على أن القوة الضعيفة تتضمن على تماثل قياسى أكثر اتقانا يرتبط بالتغيرات فى هوية الجسيم. وقد قابلنا تماثل قياسى من نفس هذا النوع فى نهاية الفصل الرابع، وكان يسمى "تماثل اللف النظيرى"Isotopic Spin Symmetry وعندما نشأ فى البداية ، كان يفترض أن يصف تماثل اللف النظيرى التفاعل النووى القوى بين البروتونات والنيوترونات. وتذكر أن تغيرا قياسيا فى هذه الحالة كان يماثل دوران مقبض تخيلى يخلط هويات البروتونات والنيوترونات بعضها البعض. وكانت الفكرة هى أن القوى النووية ثابتة فى ظل هذه التحولات التخيلية. وفى وصف واينبيرج وعبدالسلام للقوة الضعيفة كمجال قياسى استعارا فكرة التماثل اللف النظيرى هذا من حقل الفيزياء النووية، وجعلاه ملائما للموضوع المختلف تماما عن القوة الضعيفة. واستخدمت نفس الفكرة الأساسية لتماثل هوية مختلطة، غير أن الهجين المستخدم يدمج هويات مصادر قوى ضعيفة، مثل الإليكترونات وجسيمات النيوترينو .

تخيل مقبضا سحريا يمكننا من تغيير الإليكترونات إلى جسيمات نيوترينو والعكس صحيح. وعندما يلف المقبض فإن إلكترونية كل الإليكترونات تخبو تدريجيا إلى أن تتحول إلى جسيمات نيوترينو. وفى نفس الوقت، تخبو نيوترينوية كل جسيمات

النيوترينو وتتحول إلى إليكترونات. وبالطبع، فإن هذا لا يمكن أن يحدث بالفعل، لكن الباحثين يستخدمون مثل هذه الأساليب الخيالية لاختبار المعادلات التى تصف الجسيمات والقوى .

إن ما تم وصفه بالضبط هو مثال لتغير قياسى شامل ، وهو تغير شامل لأن لف المقبض يغير مزيج هوية كل إليكترون وكل نيوترونو فى الكون. ورأينا فى الفصل السابق كيف كان الانتقال من تماثل قياسى شامل إلى تماثل قياسى محلى يؤدى إلى ابتكار مجالات القوى المطلوبة من أجل التعويض عن التغيرات القياسية التى تختلف عند كل نقطة. ويعمل إعادة ضبط تحديد الوضع عند كل نقطة على إدخال مفهوم مجال جذبى. والتغير القياسى الشامل الذى وصف بالمقبض السحرى يمكن أن يتحول أيضا إلى تغير قياسى محلى . ويمكننا تخيل مقبضا مستقلا لكل نقطة فى الفضاء، وتحديدنا لأوضاع كل المقابض بطريقة مختلفة. وعندما يتم ذلك، تصبح مجالات قوى جديدة مطلوبة للحفاظ على التماثل، للتعويض عن الأوضاع المعادة المضطربة للمقابض من مكان إلى آخر. ويتضح أن مجالات القوى الجديدة هذه تصف بدقة القوة الضعيفة. وحقيقة أن التماثل القياسى المستخدم هنا يعتبر أكثر تعقيدا من حالة الكهرومغناطيسية، يظهر من حقيقة أن ثلاثة مجالات قوة جديدة تصبح ضرورية للحفاظ على التماثل. وهذا فى مقابل مجال كهرومغناطيسى واحد. ويمكن إعطاء وصف كمى لهذه المجالات الثلاثة بسهولة:سوف يكون هناك ثلاثة أنواع جديدة من الجسيمات حاملة القوى ، جسيم حامل للقوى لكل مجال .

كيف تصف هذه المجالات الثلاثة القوة الضعيفة ؟ إن الغرض من المجالات هو التعويض عن التغيرات التى تحدث من مكان لآخر فى مزيج هوية الإليكترونات والنيوترينو . (ويمكن أيضا استخدام النظرية للبتونات أو كواركات أخرى.) وهذا يعنى أنه عندما ينبعث أو يمتص كم المجال، سوف يكون هناك تغيرا مفاجئا فى هوية الجسيم، فقد يتغير إليكترون إلى نيوترينو أو العكس صحيح. وهذا ما يحدث بالضبط عندما تعمل القوة الضعيفة .

ويوضح شكل 17 عملية تفاعل نموذجى للقوة الضعيفة . وينظر القائم بالتجربة إلى هذا الحدث على أنه حدث استطارة أى تشتت Scattering، يتقابل فيه نيوترون (n) مع نيوترينون (e)، ويطرأ على الجسيمين تغيرات فى الهوية لإنتاج

بروتون((p) وإليكترون (e)الجسيم حامل القوى، يعمل على تغيير كوارك من نوع أسفل down فى النيوترون، ويحوله إلى كوارك من نوع أعلى up، وبذلك يتحول النيوترون إلى بروتون، مع انبعاث جسيم حامل للقوى (يمثله بخط منكسر فى الشكل) حيث يمتصه نيوترينو فيما بعد، محولا أياه إلى إليكترون. ولما كان البروتون يظهر بشحنة كهربية موجبة، فيجب أن يحمل الجسيم حامل القوى معه شحنة سالبة(بواسطة قانون حفظ الشحنة). وينتهى مصير هذه الشحنة السالبة على الإليكترون. ويسمى الجسيم حامل القوى المشحون بشحنة سالبة (W -) . ويكون هناك أيضا جسيم نقيض مشحون بشحنة موجبة (W+) . ويمكن أن يتحول الـ W+ ولنقل من نيوترون نقيض إلى نيوترينو مضاد .

والـ W+ و – W يعتبران اثنان من ثلاثة مجالات للقوة الضعيفة تنبأت بهما نظرية واينبيرج – سلام. ويناظر المجال المتبقى جسيم حامل للقوى متعادل كهربيا، يطلق عليهZ. وعندما صيغت هذه النظرية لأول مرة، كانت فكرة جسيم حامل للقوى متعادل للقوة الضعيفة فكرة جديدة. فلو كان المجال Z موجودا لكان سيظهر كقوة ضعيفة بين الجسيمات التى لا تتضمن أى تحول للشحنة الكهربية. ويوضح شكل 18 مثالا لذلك. وهنا يتفرق إليكترون ونيوترينو عن أحدهما الآخر عن طريق تبادل Z. وفى عام 1973، أوضحت تجربة استمرت لفترة طويلة فى معامل سيرن أن القوة الضعيفة المتعادلة كهربيا موجودة بالفعل. وكانت النتيجة دعما قويا لنظرية واينبيرج – سلام .

وعلى الرغم من هذا التوافق السعيد بين النظرية والرصد، كان لا يزال على وصف القوة الضعيفة كمجال قياسى أن يتغلب على عقبة كبرى؛ فمن طبيعة المجالات القياسية ذاتها أنها بعيدة المدى ، ويبدو من المحتم أن تؤدى النظرية إلى التنبؤ بأن الجسيمات حاملة القوى هى جسيمات عديمة الكتلة، مثل الفوتون . وفى الحقيقة، تعتبر القوة الضعيفة قوة قصيرة المدى تماما، وتحمل جسيماتها حاملة القوى كتلة ضخمة. وإذا خصص للجسيمات W و Z كتلة فى النظرية، فسوف ينهار التماثل القياسى الأساسى . كيف يمكن الحصول فى أفضل الأحوال على تماثل قياسى وكذلك جسيمات حاملة للقوى ذات كتل ؟

وقدم واينبيرج وعبدالسلام تحليلا لهذا اللغز المحير فى عام 1967. فقد تضمن على فكرة ماهرة تعرف "بالانقطاع التلقائى للتماثل"spontaneous symmetry breaking ، وهذه طريقة عمله :

تخيل سطحا أملس له شكل قبعة مكسيكية موضوعة بشكل أفقى(انظر شكل ١٩). توضع كرة صغيرة فى مركز قمتها العليا . ومن خلال هذا الترتيب يكون للنظام تماثلا واضحا، أى أنه لا يتغير بالدوران حول محور رأسى يمر خلال مركز القبعة. وطالما كانت قوة الجاذبية مأخوذة فى الاعتبار، فلا يوجد اتجاه أفقى مفضل (فالجاذبية تعمل رأسيا) ؛ وأى مكان من الحافة المستديرة يتساوى مع أى مكان آخر عليها .

وعلى الرغم من أن النظام متماثل إلا أنه غير مستقر، فبمجرد أن تتحرك الكرة فلن تظل مستقرة على الدوام فوق قمة القبعة ، لكنها سرعان ما تتدحرج وتستقر فى مكان ما على حافة "القبعة" المستديرة. وعندما يحدث هذا ينقطع التماثل. وتختار الكرة مكانا معينا على الحافة المستديرة تستقر عليه، وتحدد بالتالى اتجاها أفقيا مفضلا على المحور المركزى . لقد استبدل التماثل summetiy بالاستقرار statbility. وفى الشكل المستقر، لا يزال التماثل الدورانى الأساسى للقوى(الجاذبية فى هذه الحالة) موجود لكنه مختف. ولم يعد يعكس الوضع الفعلى للنظام تماثل القوى التى تتحكم فيه .

ونفس هذه الفكرة العامة استخدمها واينبيرج وعبدالسلام، بيد أن التماثل المتضمن كان تماثلا قياسيا بدلا من أن يكون تماثلا دورانيا، ويناظر الانقطاع التلقائى الحالة الكمية التى اتخذتها مجالات القوى . وهكذا، فلا يزال التماثل القياسى الأساسى فى نظريتهما موجود فى المجالات، لكن المجالات لا يمكن أن توجد بصورة طبيعية فى وضع يعكس هذا التماثل ، لأن وضع كهذا لا يكون مستقرا. ونتيجة لذلك تغوص المجالات فى وضع مستقر يقطع التماثل ويضفى على الجسيمات حاملة القوى كتلة. ومن الطبيعى، أن تكون التفاصيل أكثر تعقيدا من مثال "القبعة المكسيكية"، غير

أن الفكرة الأساسية لا تتغير: لا يزال التماثل موجوداً فى القـوانين الأسـاسية لكنه لا ينعكس فى الوضع الفعلى للنظام. ولهذا السبب لم يلاحظ الفيزيائيون هذا التماثل القياسى خلال خمسة وثلاثون عاما من دراسة القوة الضعيفة.

ولتحقيق انقطاع التماثل التلقائى الأساسى ، أدخل واينبيرج وعبدالسلام فى النظرية مجالا إضافيا سمى مجال هيجز Higgs field على باسم بيتر هيجز Peter Higgs بجامعة أدنبرة ، الذى درس انقطاع التماثل القياسى فى سياق فيزياء الجسيمات. ولم ير أحد مجال هيجز ، لكن وجوده يمكن أن يكون له تأثير مهم على سلوك المجالات القياسية . وفى حالة "القبعة"، فإن حالة تماثل الكرة الموضوعة على القمة يكون غير مستقرا. فالكرة تفضل التدحرج على الحافة المستديرة لأن لحالة التماثل المنقطع طاقة منخفضة. وبالمثل، فتماثل مجال هيجز هو ذلك التماثل الذى حالة طاقته المنخفضة هى واحدة من التماثل المنقطع . فالتزاوج ما بين مجال هيجز والمجالات القياسية هو الذى يعطى كتلة لجسيمات W و Z . وتتنبأ النظرية أيضا بوجود جسيم هيجز أو – كم مجال هيجز – الذى له لف يساوى صفر وكتلة كبيرة .

وعندما تعرف واينبيرج وعبدالسلام على فكرة انقطاع التماثل التلقائى، استطاعا بعد ذلك اتخاذ الخطوة المهمة جدا التالية، وضما الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة فى نظرية مجال قياسى واحدة. ولجعل كلا نوعى المجال يخرجان من نظرية واحدة ، كان من الضرورى البدء بتماثل قياسى أكثر اتقانا، ذلك التماثل الذى يشمل كلا من التماثل القياسى المصاحب للكهرومغناطيسية، وتماثل "اللف النظيرى Isotopic Spin" المصاحب للقوة الضعيفة . وهكذا فهناك أربعة مجالات بالكامل فى هذه النظرية، وهى المجال الكهرومغناطيسى ومجالات القوة الضعيفة الثلاثة. وكانت الخطوة التالية هى تعديل مجالات هيجز لكى تحدث انقطاع تماثل تلقائى . وبداية ، تعتبر كمات W و Z هى كمات Quanta بدون كتلة Mass ، لكن تأثير انقطاع التماثل يعتبر بالنسبة لبعض جسيمات هيجز الالتحام بجسيمات W و Z وإضفاء كتلة عليها. وكما عبر عنها عبدالسلام ، فإن جسيمات W و Z تأكل جسيمات هيجز لاكتساب كتلة. ويظل الفوتون دون تغير بهذه العملية، ويترك بلا كتلة .

وتفسر نظرية واينبيرج – عبدالسلام بشكل رائع سبب ظهور القوى الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة بهذه الخصائص المتباينة. فالتركيب الأساسى لمجالات قوتها يتشابه تشابها كبيرا ؛ فكلاهما مجالات قياسية. وتأثير انقطاع التماثل هو الذى يحدث هذا الاختلاف فى طبيعتهما . وقد نخفق فى ملاحظة تماثل قياسى للقوة الضعيفة لأنه مختف عنا بسبب انقطاع التماثل .

وهناك اختلاف كبير آخر بين القوتين هو شدتهما . لماذا تكون القوة الضعيفة بهذا الضعف؟ وقد فسرت أيضا النظرية هذا السبب. فإذا ظل التماثل دون انقطاع فسوف يكون لكلا القوتان شدتان متشابهتان. ولانقطاع التماثل تأثير إضعاف القوة الضعيفة. وفى الواقع، فإن شدة القوة الضعيفة ترتبط بشكل مباشر بكتل جسيمات W و Z. وقد يقال أن القوة الضعيفة بهذا الضعف لأن جسيمات W و Z ضخمتان جدا.

وعندما نشر واينبيرج وعبدالسلام نظريتهما فى أواخر الستينيات كان لا يزال هناك واحدا من أكبر التحديات النظرية. هل كان يمكن إعادة تطبيع النظرية ؟ هل تصلح معجزة سحق اللانهاية للكهروديميكا الكمية لمجالات القياس الكهروضعيفة المتحدة ؟ وقد تصدى لهذه المشكلة جيرهاردت هوفت Gerhard't Hooft من جامعة أوترخت فى أوائل السبعينيات. وكانت المهمة صعبة للغاية ، إذ تضمنت على حسابات معقدة ومجهدة للحدود المتتالية فى سلسلة طويلة ، لرؤية أين تكمن اللانهايات المميتة. وقد أصبح بعض العمل سهلا باستخدام الكمبيوتر. ووصف هوفت مؤخرا كيف فحص بقلق نتائج الكمبيوتر عندما انتهت الحسابات :

« بعض النماذج البسيطة أعطت نتائج مشجعة: وفى هذه الحالات المختارة ألغيت كل اللانهايات بغض النظر عن عدد الجسيمات القياسية المتبادلة ، وبغض النظر عن عدد الأنشوطات المتضمنة فى مخططات فينمان. وجاء الاختبار الحاسم عندما تحقق من النظرية بواسطة برنامج كمبيوتر للانهايات فى كل المخططات الممكنة بواسطة أنشوطتين . وأعلنت نتيجة هذا الاختبار فى يوليو ١٩٧١؛ وكان ناتج البرنامج سلسلة أصفار متصلة. فقد ألغيت كل لانهاية تماما » .

ومن الواضح أن درجة التماثل العالية المتضمنة فى النظرية الكهروضعيفة هى العنصر المهم لتجنب كارثة اللانهايات. فقد كان درسا تم فهمه بصورة جيدة.

وكان كل ما تبقى اختباراً تجريبياً محدداً لإتمام النظرية الجديدة. وكان التأكيد الأكثر إقناعا هو التحديد الإيجابى لجسيمات W و Z .

وفى تجربة معملية، تمضى جسيمات WوZ دون أن ترى فى معظم الأحوال، فهى تظل كمات تقديرية يتم تبادلها مثل حاملات القوى بين الجسيمات الأخرى. ومع ذلك، فإذا أمكن دفع قدر من الطاقة فى النظام، فإنه يمكن الوفاء بقرض طاقة هايزنبيرج الذى يمول الوجود المؤقت لجسيمات W و Z ، ويمكن أن تصبح الجسيمات حينئذ "حقيقية"، أى يمكنها الإفلات بسرعة ويكون لها وجود مستقل . ولكونها ضخمة جدا(حوالى كتلة تسعون بروتونا) ، فإن انطلاق جسيمات W و Z يتطلب بهذه الطريقة كميات ضخمة من الطاقة، وعلى ذلك فلم يكن إلا من خلال التطور الحديث للمعجلات الكبيرة جدا أن أصبح من الممكن إنتاجها وتحديدها .

وبالاكتشاف النهائى لجسيماتWوZ فى عام 1983، تأكدت نظرية واينبيرج-سلام بشكل حاسم ، فلم يعد من الضرورى التحدث عن أربع قوة أساسية. فقد اعتبرت القوى الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة المستقلة ظاهريا بأنهما مجرد عنصران من قوة كهروضعيفة واحدة. وقد حصل واينبيرج وعبدالسلام نتيجة لهذا الإنجاز العظيم على جائزة نوبل فى عام 1979، بالاشتراك مع شيلدون جلاشو من جامعة هارفارد لوضعه أسس النظرية فى بحث سابق .

وباستلهام الفيزيائيين لإنجازات الرائعة لنظرية الكهروضعيفة Electro weak Theory، بدأوا يتساءلون إن كان من الممكن حدوث توحيد آخر. فربما لا توجد بالفعل سوى قوتين أساسيتين للطبيعة، أو ربما توجد قوة عظمى واحدة؟ لم يمض وقت طويل حتى أصبحت القوة النووية الشديدة (2) Strong Force تحت الفحص الدقيق .

2- شحنات ملونة لتحديد الشخصية :

لم تكن فكرة وجود اندماج القوة الشديدة مع القوة الضعيفة فى اتحاد آخر ممكنة بالفعل إلا عندما اتضح نجاح نظرية واينبيرج - عبدالسلام. ولكن قبل أن يحدث مثل هذا الاتحاد كان من الضرورى أولا أن نتصور القوة الشديدة فى صورة مجال قياسى . وقد رأينا كيف يمكن تصور القوة الشديدة على أساس تبادل الجليونات Gluon التى تعمل على ضم الكواركات مع بعضها فى صورة أزواج أو ثلاثيات لتشكل

ما يسمى بالهادرونات .Hadron ويمكن وصف مجال قياسى لهذه العملية باستخدام مفهوم تماثل اللف النظيرى مرة أخرى، والذى يمكن تعميمه بصورة ملائمة .

والفكرة الأساسية هى كالآتى: لكل كوارك نظير من الشحنة الكهربية التى تعمل كمصدر لمجال الجليون. ونظرا لعدم وجود كلمة أفضل ، فقد أطلق على هذه "الشحنة" اسم لون colour . (وبطبيعة الحال لا توجد علاقة بالألوان العادية.) ولا يتولد المجال الكهرومغناطيسى إلا من نوع واحد من الشحنات، فى حين يتطلب مجال الجليون الأكثر تعقيدا ثلاث شحنات لونية مستقلة. كل كوارك، عندئذ ، يمكن أن يظهر بأحد الألوان الثلاثة الممكنة، التى يشار إليها بشكل اعتبارى بالأحمر والأخضر والأزرق .

ويمكن تصور التماثل القياسى المصاحب لهذه الألوان مرة أخرى على أساس "مقبض سحرى" يخلط الهويات. وفى هذه الحالة يكون للمقبض ثلاث مؤشرات – الأحمر والأخضر والأزرق(انظر شكل 20)– بدلا من مؤشرين. ويماثل دوران المقبض تحويل الكواركات الحمراء إلى الكواركات الخضراء أو الكواركات الزرقاء، وهكذا، ويتوقف ذلك على وضع المقبض. ومرة أخرى، فالتحول مستمر، إذ يتحول لون الحمرة ببطء إلى الزرقة، وهلم جرا .

وتظهر النظرية الآن نفس الخطوط المتبعة فى القوة الضعيفة. حيث تتطلب الحاجة إلى تماثل قياسى محلى– ثابت فى ظل تغيرات لونية مستقلة عند كل نقطة فى الفضاء– إدخال مجالات قوى من أجل التعويض. ولأن للمقبض ثلاثة مؤشرات بدلا من اثنين، فإن التماثل المتضمن يصبح أكثر تعقيدا، وينعكس هذا من خلال العدد الكبير لمجالات القوى التى تصبح ضرورية للحفاظ على تماثل قياسى محلى. وفى الحقيقة، يجب أن تكون هناك حاجة إلى ما مجموعه ثمانية مجالات قوى متكافئة. والجسيمات حاملة القوى لهذه المجالات هى، بطبيعة الحال، الجليونات Gluon ، ونتيجة لذلك يتضمن التحليل على أنه يجب أن تكون هناك ثمانية أنواع مختلفة من الجليونات. قارن هذا بالجسيم حامل القوى الواحد للكهرومغناطيسية(الفوتون) photon والجسيمات حاملة القوى الثلاثة للقوة الضعيفة(+W و-W و Z)

وتظهر الكواركات النقيضة فى ثلاثة ألوان نقيضة (الأحمر النقيض والأخضر النقيض والأزرق النقيض). وتحمل الجليونات ذاتها لون خفيف، من لون متراكب، مثل

أزرق – أخضر نقيض. وكلما أرسل كوارك جليونا، يجب أن يتغير لونه للتعويض عن اللون الذى استبعده الجليون. وهكذا ، يمكن أن يبعث كوارك أحمر جليونا أحمر–أزرق نقيض ويتحول إلى الأزرق. وبالمثل ، فالكوارك الأخضر الذى يمتص جليونا أزرق–أخضر نقيض يتحول إلى الأزرق، وهلم جرا .

وتأثير انبعاث أو امتصاص جليون، هو حينئذ، لتغيير هوية الكوارك، على سبيل المثال، من كوارك أحمر إلى كوارك أخضر. وفى هذا الخصوص، تشابه القوة الشديدة القوة الضعيفة، حيث يكون لانبعاث W، على سبيل المثال، أن يتغير إليكترون إلى نيوترينو. وتخضع الكواركات إلى القوة الضعيفة أيضا، بالإضافة إلى القوة الشديدة، غير أن التغير فى الهوية الذى يحدث عندما ينبعث جسيم يحمل القوة الضعيفة يختلف عن التغير الذى يحدث أحيانا من انبعاث جليون، الذى يحمل القوة الشديدة. وحينما تغير الجليونات الهوية اللونية للكواركات فإن القوة الضعيفة تغير النكهة. وعلى سبيل المثال، فعندما ينحل نيوترون فإن أحد كواركاته أسفل يطلق جسيم -W ويتحول إلى كوارك أعلى . ومن المهم أن نتذكر أن الكواركات لديها كل من اللون والنكهة، ويجب ألا يختلط الاثنان .

وفى هادرون نموذجى مثل البروتون، فإن الكواركات الثلاثة تتبادل بشكل مستمر جسيمات جليونات وتغير اللون، ومع ذلك فالتغيرات ليست عشوائية . تضع رياضيات هذه النظرية قاعدة مهمة جدا، والتى يجب أن تتبع بعزيمة نشطة خلال هذا التلاعب اللونى المتعدد. وفى أى وقت معين، يجب أن يكون "مجموع" كل ألوان الكواركات الثلاثة دائما أحمر + أخضر + أزرق. وباستمرار التشبيه بلون حقيقى مرحلة أخرى، يمكننا القول أن مجموعة الألوان فى هادرون يجب أن تصنع دائما "أبيض"(يعطى دمج الألوان الأساسية الأحمر والأخضر والأزرق اللون الأبيض) . وهذا هو التماثل القياسى المهم الموجود بشكل عام . وتعوض عملية مجالات الجليون عن تغيرات داخلية فى ألوان الكوارك بحيث يمكن الحفاظ على الابيضاض النقى للهادرون .

ويمكن أن تتكون الهادرونات أيضا من أزواج الكوارك–الكوارك النقيض، مكونة مجموعة جسيمات الميزونات Meson. ولما كان كوارك نقيض يحمل لونا نقيضا، فيكفل لمثل هذا الاتحاد أن يكون عديم اللون("أبيض"). وعلى سبيل المثال، فإن كواركا أحمر

يتحد مع كوارك أحمر نقيض يصنع ميزونا عديم اللون. وفى هذا المخطط تكون جميع اللبتونات عديمة اللون أيضا، لأنها لا تشعر بقوة الجليون على الإطلاق .

وتشرح نظرية اللون الكمية- أو كروموديناميك الكم Quantum Chromodynamics وتختصر إلى (QCD)- بطريقة رائعة قواعد اتحاد الكوارك التى استنبطت أساسا فى الستينيات على أسس مخصصة لهذا الغرض . ومن وجهة نظر كروموديناميك الكم ، فإن القوة الشديدة لا تعدو أن تكون شيئا أكثر من إصرار الطبيعة على الاحتفاظ بتماثل مجرد ، وفى هذه الحالة، تظل جميع الهادرونات بيضاء حتى عندما يحدث تغيرا لونيا داخليا. وإذا طلبنا التماثل القياسى المجرد هذا للطبيعة، تجعلنا مجالات الجليون نقبل ذلك. ونحن لسنا بحاجة إلى ابتكاره- فهو يأتى من الرياضيات بصورة آلية .

وهناك سمة واحدة مهمة للقوة الشديدة لم تذكر بعد. فعندما ابتكرت نظرية الكوارك لأول مرة، كان من الواضح أن اختبارا حقيقيا للنظرية أصبح متاحا. وكل ما كان مطلوباً أن يحطم شخص ما أى جسيم من الجسيمات الثقيلة وهى الهادرونات ، وأن يظهر الكواركات المكونة حتى يراها العالم. والكوارك المعزول يكون واضحا لأن شحنته الكهربية هى $^{1}/_{3}$ أو $^{2}/_{3}$ الشحنة التى تحملها كل أنواع الجسيمات الأخرى .

ولم تستطع المعجلات السريعة تحطيم أى جسيم من جسيمات الهادرونات . وعندئذ بدأ الفيزيائيون يفكرون فيما ما إذا كان هناك خطأ فى نظرية الكوارك . وبالتأكيد ، فإذا كانت هناك كواركات داخل بروتون أيكون فى الإمكان ضرب أحد هذه الكواركات داخل البروتون وإظهاره ، إذا ما تلقى ضربة قوية كافية ؟ ومع ذلك فحتى عند ضرب البروتون بطاقة مساوية لكتلة سكونه عدة مرات، فإن البروتون يرفض بإصرار أن يتحطم. وكل ما يحدث فى هذه الأحداث هو ظهور زخم جديد من جسيمات الهادرونات المتجمعة بشكل كامل . ولم تظهر كواركات فردية على الإطلاق .

والطريقة البديلة للبحث عن كوارك هى اللجوء إلى الطبيعة، فإذا كان الكوارك موجوداً ، فمن المعقول أن نفترض أنه سينتج بصورة طبيعية فى مكان ما. ومن المفترض أنه عندما خلقت المادة فى البداية، صنعت الكواركات أولا وبعد ذلك اتحدت مع بعضها لتكون جسيمات الهادرونات. وقد يكون من المعقول أن نخمن أن بضع

كواركات قد تفشل فى أن تجد شركاء لها وتظل هائمة فى الكون بمفردها. وقد يكشف البحث عن المادة الطبيعية لكوارك غريب لا يزال موجودا هنا وهناك .

وعكف ويليام فيربانك William Fairbank من جامعة ستانفورد على بحث الموضوع ، فقد فحص بعناية عينات صغيرة من معادن طبيعية، مثل النيوبيومniobium لرؤية ما إذا كانت تحتوى على أية جسيمات ذات شحنة كهربية $^{1}/3$ أو $^{2}/3$. وقد قام بهذا عن طريق ملاحظة سلوك العينات عند وضعها فى مجال كهربى قوى. وتكررت تجارب فيربانك الدقيقة جدا على مدى سنوات عديدة، وأعلن عن نتائج إيجابية. وقد أشار إلى أن الجسيمات المشحونة بشكل جزئى تظهر فى بعض العينات. و لا يزال زعم فيربانك حتى هذا اليوم مفتوحا، غير أن تجارب مماثلة أجريت فى أماكن أخرى فشلت فى تأكيد نتائجه، وظل العديد من الفيزيائيين متشككين. هل يعنى هذا، على الرغم من كل شيء، أن وجود الكواركات أمر مشكوك فيه ؟ على الإطلاق. فهناك شعور متزايد بأن الكواركات لا يمكن أن توجد إلا داخل الهادرونات. وإن كان الأمر كذلك ، فيجب أن تكون هناك بعض قوانين الطبيعة التى تمنع وجود كواركات معزولة . ففى كل مرة تحاول انتزاع كوارك من هادرون، تجد شيء ما يمنعك من إزالته تماما. ومن المفترض أن يكون هذا الشيء هو مجال قوة جسيم الجليون الحامل للقوة. ومن الواضح أن الكواركات ترتبط ببعضها بشدة داخل الهادرونات بحيث لا توجد قوة فى الكون يمكنها أن تكسر هذه الارتباطات وتحرره. ويقول الفيزيائيون أن الكواركات "منحبسة بشكل دائم" داخل الهادرونات ويشيرون إلى التفسير المطلوب لهذه الحقيقة بأنه مشكلة الاحتجاز confinement problem .

3-غراء قوية تشد الجسيمات :

يعد مفهوم احتجاز الكوارك على أساس نظرية المجال القياسى تحديا نظريا رئيسيا، فإذا أمكن إنتاج كوارك فردى فسوف يظهر شحنة لونية معينة -حمراء أو خضراء أو زرقاء. وفى الوقت الذى تكون فيه الكواركات محتجزة فلن نرى أى لون، كل ما نراه بصفة عامة "الأبيض"، أو مجموعات لا لونية. فإذا كان الاحتجاز دائم، حينئذ، لن تجعلنا الطبيعة نلاحظ لوناً مجرداً. إنه مراقب. وهذا يفسر سبب إمكانية وجود لبتونات وليست كواركات بشكل مستقل ، لأن اللبتونات عديمة اللون .

ولكن ماذا يحدث لو حاولنا ببساطة نزع كوارك من أى جسيم ثقيل من عائلة الهادرونات ؟ ما هو نوع الغراء القوى superglue الذى يلصق الكواركات بهذه الدرجة التى لا يمكن التغلب عليها ؟

جاء أحد المفاتيح المهمة لحل لغز طبيعة القوة بين الكواركات من تجارب معجل ستانفورد الطولى((SLAC)، التى ذكرت فى فصل سابق ، والتى كانت تقذف فيها إليكترونات عالية الطاقة على البروتونات. وقد أوضحت النتائج أنه على مسافات قصيرة، تخبو القوة تقريبا وتتصرف الكواركات على أنها جسيمات حرة. ويمكن استجلاء المزيد من المعلومات من سلوك الميزونات – "وهى الجسيمات الثقيلة المتكونة من كوارك + كوارك نقيض" حيث يشكل كوارك وكوارك نقيض نظامًا للارتباط يشبه نظام ذرة هيدروجين. ومن خلال دراسة الحالات المستثارة لذرة هيدروجين، يمكن استنتاج قانون التربيع العكسى للقوة الكهربية بين البروتون والإليكترون حيث يميل انجذابهما المتبادل إلى الهبوط مع زيادة المسافة . وتشير دراسات مشابهة للحالات المستثارة للميزونات إلى موقف متناقض تماما. فكلما ابتعد الجسيمان عن بعضهما – فى حالات طاقة أعلى – تصبح القوة بينهما أشد بدلا من أن تكون أضعف .

وتقترح هذه النتائج أن القوة بين الكواركات قوة غريبة جدا، فكل قوى الطبيعة الأخرى تضعف مع زيادة المسافة ، وتقوم القوة داخل الكوارك بفعل العكس. فقد شبهت بقطعة قابلة للتمدد، تنجذب بقوة كلما شدت، لكنها تتراخى عند اقتراب الأطراف من بعضها . وهناك تشبيه آخر يكون من خلال سلسلة. فهى كما لو أن الكواركات مرتبطة فيما بينها بسلسلة داخل الهادرونات. فإذا ما انضمت إلى بعضها فلن تظهر السلاسل بصورة حقيقية، وتكون الكواركات حرة ومستقلة داخل حيز ضيق . ولكن إذا حاول أحد الكواركات الإفلات فإنه ينجذب بشدة. ويشير الفيزيائيون إلى هذا النظام "بعبودية" الكوارك quark slavery .

وبالطبع ، فبمجرد أن أصبحت فكرة عبودية الكوارك على ألسنة الناس، كان تفكير الباحثين هو ما إذا كان فى إمكان كرموديناميك الكم أن تعطى تفسيرا لها. وفى الحال ظهرت صعوبة الحسابات بدرجة هائلة، على الرغم من أن هناك بعض المؤشرات المشجعة. فمن وجهة نظر فيزيائية، يمكن أن نفهم بشكل مجمل كيف يحدث أن تتنامى القوة داخل الكوارك بشكل أكبر مع البعد .

والاختلاف الأساسى بين الكهرومغناطيسية – حيث تتضاءل القوة مع البعد – ومجال الجليون هو أن الفوتونات لا تحمل شحنة كهربية. فإن كانت تحمل شحنة، فسوف يتغير العالم بدرجة تفوق التصور . وفى المقابل، تحمل الجليونات "شحنة" ملونة فى اتحادات مختلطة، مثل أحمر–أخضر نقيض. لكن اللون هو مصدر القوة الشديدة. ونتيجة لذلك، لا تعمل الجليونات لمجرد لصق الكواركات ببعضها البعض، بل تميل أيضا للالتصاق ببعضها البعض . وهذا يجعل الأمور أكثر تعقيدا، غير أن تحليلا دقيقا يقترح أن عمليات اللصق الشاملة للجليونات قد تكون المفتاح الذى يفسر عبودية الكوارك .

ولنرى كيف، علينا أن نعود إلى مفهوم الفراغ أو الخواء الكمى. دعنا ننظر أولا إلى ما يحدث لإليكترون عندما يوضع فى خواء. تذكر أن الفراغ حول الإليكترون ليس خاليا تماما، لكنه ممتلئ بجسيمات تقديرية من كافة الأنواع . ومن بين هذه الجسيمات سيكون هناك إليكترونات تقديرية وبوزيترونات تقديرية. وعلى الرغم من أننا لا نرى هذه الجسيمات التقديرية بشكل مباشر، إلا أننا نعرف أنها موجودة ، ويمكن أن تترك آثار مادية. والإليكترون الذى وضعناه فى الخواء سيعرف أيضا أنها موجودة لأنها ستستجيب لوجوده. وسوف يشوش المجال الكهربى للإليكترون على نمط نشاط هذه الإليكترونات والبوزيترونات التقديرية خلال وجودها القصير. وستميل البوزيترونات إلى الانجذاب نحو الإليكترون المرغوب بواسطة الجذب الكهربى ، بينما ستطرد الإليكترونات التقديرية. وهكذا فإن هناك انتقال نهائى للشحنة ، وهى ظاهرة تعرف بالاستقطاب polarization (3) وحقيقة أن الفضاء الفارغ يمكن أن يستقطب كهربيا فى وجود مجال كهربى تعتبر نتيجة مهمة لنظرية الكم . ومن الصعب تخيل خواء له خصائص كهربية ، غير أن التأثير رغما عن ذلك حقيقى، وقد تم قياسه بالفعل فى التجارب.

ونتيجة لهذا الاستقطاب الخوائى تكون نوع من الشاشات أو الحواجز المتعادلة من الشحنة الكهربية حول الإليكترون. فلا مفر من أن يخلص الإليكترون نفسه من هذا الحاجز؛ إنه جزء من سحابة من الجسيمات التقديرية التى تحملها معها جميع الإليكترونات. ولذلك ، فالشحنة الفعالة التى يبدو أن إليكترونا يمتلكها تكون أقل من الشحنة التى له فى الحقيقة بسبب تأثير الحاجز. وإذا أمكننا الغوص داخل السحابة يجب أن نبدأ بالشعور بالإليكترون "العار" أو المكشوف، بشحنته الضخمة. ويجب أن

نجد عندما نخترق السحابة أن قانون التربيع العكسى البسيط للقوة التى تبقى على بعد يبدأ فى الضعف بسبب سحابة البوزيترونات التقديرية التى تحتضن الإليكترون المركزى. وهكذا، يمكن أن يغير وجود الحاجز الخوائى الطريقة التى تتغير بها القوة مع البعد .

ويحدث الحجز أيضا فى مجال الجليون، حيث تكون النتيجة تعديل قوة "الشحنة" اللونية التى يحملها كوارك. وتميل الكواركات النقيضة التقديرية نحو التجمع حول كوارك ذا لون معين. وعلى سبيل المثال، يجذب كوارك أحمر سحابة من الكواركات النقيضة من الأحمر النقيض. وكما فى الحالة الكهرومغناطيسية، تكون النتيجة تعادل جزئى للشحنة اللونية. ومع ذلك، فهذه المرة يظهر إسهام إضافى للاستقطاب الخوائى من الجليونات. ولما كان للجليونات أيضا لون ، فسوف تستجيب الجليونات التقديرية فى الخواء لوجود كوارك. ويتضح أن سحابة الجليون التى تؤثر بطريقة معاكسة لسحابة الكوارك، تميل إلى تقوية اللون بدلا من أن تعادله على الكوارك المركزى. ونتيجة لذلك يكون تأثير الجليونات التقديرية هو مقاومة تأثير الكواركات التقديرية، وتؤكد الحسابات التفصيلية أن الجليونات ستفوز، وتكون النتيجة النهائية تقوية الشحنة اللونية للكوارك بواسطة الخواء بدلا من أن تتضاءل بسببه .

إن نتائج قوة الكوارك المتبادل نتائج عميقة، فإذا اخترق كوارك مجاور سحابة الجسيم التقديرى، يجد أن اللون المؤثر للكوارك داخل السحابة يتضاءل وتخبو القوة. وينطلق الكوارك المتطفل من قبضة الكوارك الآخر طالما ظل مختفيا داخل السحابة. وعلى وجه التقريب، تكون قوة الكوارك المتبادل حينئذ عاجزة. وهذا يخالف بشكل مباشر موقف الكهرومغناطيسية، وبالتحديد السلوك العام الصحيح لتفسير عبودية الكوارك .

وقد يكون من السابق لأوانه الحكم على « كروموديناميك الكم » حاليا بالنجاح المطلق الذى حظيت به الكهروديناميكا الكمية عند اكتمالها منذ أربعين عاما مضت. وعلى الرغم من ذلك، فإنه تقدم مؤثر. وحتى فى الستينيات، بدت تظهر فيزياء الهادرونات كتلة متشابكة من القوى المعقدة والجسيمات الغامضة. وكشفت كرموديناميك الكم عن هذه الورطة ، وقدمت قاعدة بسيطة يمكن أن تبنى عليها نظرية هادرونات من خلال حدود قليلة نسبيا .

4 - نظريات التوحيد الرائعة :

مع بداية كرمودیناميك الكم ، أخذت كل قوى الطبيعة أخيرا وصفا عاما على أساس المجالات القياسية، وقد جاء هذا بأمل جديد. فقد اقترح التوحيد الناجح للقوى الكهرومغناطيسية والضعيفة داخل إطار نظرية المجال القياسي إن في الإمكان إجراء توحيد آخر. وفي عام 1973، نشر شيلدون جلاشو، وهوارد جورجي Howard Georgi نظرية أدمجت فيها قوة الكهروضعيفة الجديدة مع قوة الجليون الشديدة - القوة النووية الشديدة - لتشكيل "قوة موحدة عظمى" .superforce وكانت هذه أول نظرية موحدة كبرى Grand Unified Theory(GUT) ويوجد حاليا نظريات موحدة كبرى منافسة عديدة، لكنها جميعها مبنية على نفس الفكرة الأساسية .

فإذا كانت القوى الكهروضعيفة والقوى الشديدة مجرد وجهين لقوة عظمى واحدة، فيجب أن توصف القوة العظمى أذن بأنها مجال قياسي ذو تماثل متقن بشكل كاف، أو "كبير" بقدر كاف، حتى يتضمن التماثلات القياسية الموجودة بالفعل في كروموديناميك الكم ونظرية واينبيرج-عبدالسلام. وهذه مسألة رياضية. ولا يوجد تماثل موحد سيقوم بالعمل، ومن ثم تتوالد النظريات المنافسة. وعلى الرغم من ذلك، توجد بعض السمات المشتركة في كل النظريات الكبرى الموحدة .

إحدى هذه السمات هي أن تندمج الكواركات الثقيلة وهي حاملات القوة الشديدة والليبتونات الخفيفة ، وهي حاملات القوة الكهروضعيفة في نفس التركيب النظري. وقد نظر إلى الكواركات والليبتونات حتى الآن على أنها جسيمات بهيمية مستقلة تماما، وكان اندماجها في نظرية واحدة مفهوم جديد تماما. فقد حددت خطوة أخرى مهمة على طريق التوحيد .

والتماثلات القياسية المتضمنة في النظريات الموحدة الكبرى يمكن النظر إليها أيضا على أساس "مقبض سحري" ، يمزج هويات الجسيمات، ولكن هذه المرة ازداد عدد المؤشرات مرة أخرى. وبدلا من الاثنين المطلوبين للقوة الكهروضعيفة والثلاثة المطلوبة لدينا ميكا اللون ، هناك خمسة مؤشرات. وإدارة مقبض النظرية الموحدة الكبرى، نتيجة لذلك ، يكون عملا قويا. إذ يمكنه أن يقوم بأشياء لا يمتنع على المقابض

الأقل الأخرى أن تقوم بها، مثل تحويل الكواركات إلى لبتونات ، أو حتى إلى كواركات نقيضة ، وهى عمليات كانت لا تؤخذ فى الاعتبار مطلقا فى نظريات سابقة .

وكما سبق، فإن مطلب الطبيعة لأن تعتبر تماثل قياسى مجرد - تماثل قياس كبير هذه المرة - باستحضار مجالات القوة المكافئة يجعلنا نكتشف، بطريقة رياضية، أنواع جديدة من المجالات ذات خصائص جديدة ، مثل القدرة على تحويل الكواركات إلى لبتونات. وفى النظرية الموحدة الكبرى الأبسط التى وضعها جورجى وجلاشو، يربط المقبض السحرى الكواركات السفلية الحمراء والخضراء والزرقاء وبوزيترون ونيترونو نقيض معا. ويتطلب هذا أربع وعشرون مجالا لقوة موحدة. وهناك اثنا عشر من كمات مجالات القوى هذه معروفة من قبل: الفوتون، و W الاثنان والـZ، وثمانية جليونات .

والإثنى عشر الباقية جديدة ، ويعطى لها الاسم الجامع X . وهذه تناظر المجالات التى وظيفتها الحفاظ على تماثل قياسى أكبر، يخلط الكواركات مع اللبتونات(تناظر أوضاع المقبض التى تهجن، ولنقل، كوارك أحمر أسفل مع بوزيترون). ونتيجة لذلك ، فإن كمات هذه المجالات -جسيمات X- يمكن أن تحول الكواركات إلى لبتونات ، أو العكس صحيح ،عندما يتم تبادلها كحاملات قوى . وتحمل جسيمات Xشحنات كهربية من ذات $1/3$ أو $4/3$.

دعنا الآن نتتبع مصير هادرون نموذجى يتأثر بأنشطة الجسيمات X غير العادية هذه . والبروتون هو الموضوع المناسب ، الذى يحتوى على اثنين من الكواركات أعلى up وكوارك واحد أسفل Doun. ويختلط الكوارك السفلى بالبوزيترون من خلال التماثل القياسى الكبير، ويمكن أن يتحول إليه عن طريق تبادل X ذات خواص مناسبة، وفى هذه الحالة فإن ذلك الجسيم الذى له الشحنة اللونية Colour Charge ذات الصلة وشحنة كهربية ذات $4/3$. ويجب بطبيعة الحال أن ينقل X إلى أحد الجسيمات الأخرى، والتى يمكن أن تكون أحد الكواركات أعلى فى البروتون. والكوارك أعلى المستقبل سيمتص الـ X ويتحول بالتالى إلى كوارك نقيض أعلى .

وقد حدث هنا شيء مثير للانتباه. فما بدأ أنه ثلاثى من كواركين أعلى وكوارك واحد أسفل تحول إلى بوزيترون وزوج كوارك-كوارك نقيض. ولا يشعر البوزيترون بالقوة الشديدة، وعلى ذلك ينفلت بسرعة من جسيم الهادرون من تلقاء نفسه ، بينما لم يعد زوج الكوارك النقيض - الكوارك يشكل بروتونا، ولكن ميزون- وفى الحقيقة،

بـايـون Pion، وهو نوع من عائلة الميزون. وبالنسبة للقائم بالتجربة ، فقد تظهر له هذه السلسلة من الأحداث فى صورة انحلال بروتون إلى بوزيترون وبايون.

ومن خلال التاريخ الكامل لفيزياء الجسيمات ، كان هناك دائما قاعدة منيعة بأن البروتون جسيم مستقر بصورة مطلقة. وعلى الرغم من كل شيء، فالمادة العادية تتكون من بروتونات. وقد يكون البروتون غير مستقرا واحتمال انحلاله هو احتمال محير للنظريات الموحدة الكبرى. فهو يتضمن فى النهاية على أن كل المادة غير المستقرة ، أى أنه سريع الزوال ، وهى نتيجة عميقة جدا بالفعل، ومع ذلك لم ير أحدا بروتونا يتحلل .

وفى أوائل شتاء عام 1974، غادرت لندن إلى مؤتمر بمعمل رادرفورد بالقرب من أكسفورد. وكان أحد المسافرين المصاحبين فى الرحلة عبدالسلام ، وتحدثنا عن مضمون المحاضرة التى سيلقيها. قال عبدالسلام أن لديه بعض الأفكار عن إمكانية تحلل البروتونات . وأتذكر أن ذهنى ارتبك بالأمر كله، ولم أكن شكاكا بعض الشيء. وعرض عبدالسلام محاضرته فى حينها، وظهرت أنها أكثر تنبؤية، غير أن المؤتمر يذكر بدلا من ذلك حديث ستيفن هوكنج Stephen Hawking من جامعة كامبريدج ، الذى أعلن اكتشافه المؤثر بأن الثقوب السوداء غير مستقرة، وتنفجر فى النهاية بين زخم من الإشعاع. ومن الغريب، أنه يمكن لعملية هوكنج أن تحدث انحلال للبروتونات أيضا ، كما أكد على ذلك بعد بضعة سنوات أخرى. إذ تجعل التأثيرات الكمية أن ينضغط بروتونا بصورة لحظية للداخل ليصبح ثقبا أسود تقديرى، الذى يتبخر بعد ذلك بعملية هوكنج، لافظا بوزيترن فى طريقه. وموت ثقب أسود بروتونى يعتبر أقل احتمالا، عن مسار النظريات الموحدة الكبرى .

ومن الواضح أن الاختفاء المفاجئ لبروتون هو حدث يحتمل أن يجذب انتباه فيزيائى سريع الملاحظة، وعلى ذلك يتبادر السؤال، لماذا لم يكتشف انحلال البروتون منذ فترة طويلة. وللتعامل مع هذا السؤال، فمن الضرورى البحث عن معدل الانحلال الذى تتنبأ به النظرية. تظهر تجربة النشاط الإشعاعى أن أنصاف أعمار التحولات يمكن أن تتغير بدرجة كبيرة، ويتوقف ذلك على شدة التفاعلات التى تقود الانحلال وعلى كتل الجسيمات المتضمنة. والعامل المهم فى حالة انحلال البروتون هو كتلة الجسيم X، والذى يحدد مداه وفقا لقوانين النظرية . وإذا كان X ضخم جدا، فستصبح

دائرة نشاطه محدودة بدرجة كبيرة. وحتى يحدث انحلال لبروتون، يجب أن يقترب الكواركين المشاركين بدرجة كافية لتبادل X ، وفرصة حدوث الاقتراب فرصة نادرة جدا . وسوف يفسر ذلك السبب لماذا كان انحلال البروتون غير معروفا للقائمين بالتجارب. وباستخدام أفضل التقديرات المتاحة لنصف عمر البروتون، والعمل بصورة عكسية، يتضح أن كتلة X حوالى 10^{14} كتلة بروتونية، وهى قيمة هائلة، تبدو فى مقابلها أثقل الجسيمات المعروفة حتى الآن وهى جسيمات "Z"عديمة الأهمية .

قبل الدخول فى تفاصيل هذا الرقم المذهل، يجب أن يحل تناقض ظاهرى. وقد يقع القارئ فى حيرة، لأن البروتون يمكن أن يحتوى بداخله على جسيمات حاملة للقوى تعتبر أثقل 10^{14} من كتلته .

وتأتى الإجابة من مبدأ عدم اليقين لهايزنبيرج. تذكر أنه يوجد X لمدة الدقيقة، فقط حينما يكون هناك تبادلا بين الكواركات التى تتلامس قريبة جدا من أحدهما الآخر. ولمثل هذه الطاقة الوجيزة - ومن ثم الكتلة، سيكون لها عدم يقين هائل .

وتربط نظرية الكم الطاقة(أو الكتلة) والمسافة معا من خلال مبدأ عدم اليقين . ومن ثم فإن مقياس الكتلة يحدد بشكل أتوماتيكى مقياس المسافة . والفيزياء التى تعتبر مهمة عند مسافة معينة هى الفيزياء التى تكون مهمة عند طاقة(أو كتلة) معينة . وذلك يفسر سبب احتياجك معجلات عالية الطاقة لسبر أغوار مسافات صغيرة جدا . وعلى ذلك يعطى لنا مقياس الكتلة لـ Xمقياس مسافة ذو صلة، والتى تعتبر تقريبا المسافة التى ينتقلها X بدوره كجسيم حامل للطاقة . وتستنتج المسافة الحقيقية عند 10^{-29} سنتيمترا . وهذا هو مدى الـX، وتدلنا عن مدى الاقتراب الذى يجب أن يتبادل فيه كواركان حتى يحدث انحلال لبروتون. والشىء بالشىء يذكر ، فمسافة 10^{-29} سنتيمترا بالنسبة لبروتون تمثل ذرة تراب بالنسبة للمجموعة الشمسية . ويعتبر عالم النظريات الموحدة الكبرى وانحلال البروتون أصغر ملايين ملايين المرات من عالم الكواركات والجليونات التى سبرت أغوارها المعجلات النووية . ويشبه العالم الداخلى للبروتون الفضاء الشاسع بين المجرات فى الكون . ولسبر مثل هذا المجال الصغير جدا بصورة مباشرة، يجب علينا أن ننشئ مسارعا أكبر من المجموعة الشمسية .

يجب أن تفسر أية نظرية كاملة لقوى الطبيعة الصلابة النسبية للقوى المختلفة، فقد كان الباحثون فى النظرية الموحدة الكبرى يسارعون فى الإشارة إلى أن نظرياتهم

كانت سببا فى الاختلاف الشاسع بين القوة الكهروضعيفة والقوة الشديدة. والصلابة الحقيقية لهذه القوى ليس ما يقيسه القائمون بالتجارب عندما يرصدون سلوك الجسيمات دون الذرية الغريب لأنه يجرى حجز مصادر المجالات العديدة بواسطة تأثيرات الاستقطاب الفضائى كما سبق شرحه. والطريقة التى يعمل بها هذا الحجب هى أن القوة الكهرومغناطيسية تصبح أكبر عند مدى أقصر، فى حين تصبح القوة الشديدة أضعف، وعلى ذلك فهناك ميل للالتقاء. والقوة الضعيفة عندما ضبطت شدتها للسماح بانقطاع التماثل، تظهر بين الاثنين الآخرين ، ومثل القوة الشديدة فهى "مضادة للاحتجاز" ، وبذلك تصبح ضعيفة جدا عندما تقترب. وهناك حساب مثير للاهتمام وهو تحديد المسافة التى تصل فيها شدة القوى الثلاث إلى نفس القيمة، والإجابة هى حوالى 10^{-29} سنتيمترا مرة أخرى، وهى بالدقة مقياس الطول المصاحب لكتلة X، أنه توافق مريح .

ونتيجة هذا التحليل هى أنه عند طاقة فوق عالية(أو بما يكافئها عند مسافات صغيرة جدا)، تندمج القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة والقوة الشديدة فى قوة واحدة ، وتضيع هويات الكواركات والليبتونات المستقلة. ونحن لا ندرك إلا قوى وجسيمات متميزة فى حقل تجاربنا ،لأننا نفحص المادة عند مستوى طاقة منخفض نسبيا. ويسمى الفيزيائيون 10^{14} كتلة بروتونية "مقياس التوحيد" unification scale. وهناك معنى مثير وراء هذا الرقم.

قبل الدخول فى تفاصيل أخرى، دعنا نقيم حالة النظريات الموحدة الكبرى. فمن خلال دمج ثلاث قوى فى قوة واحدة أكبر، تخفض النظريات الموحدة الكبرى بعض العوامل الاعتبارية فى وصفنا للطبيعة بدرجة كبيرة. وتتضمن نظرية واينبيرج–عبدالسلام الأقل طموحا ثوابت، يجب أن تتأكد تماما بواسطة التجربة .

وهناك أيضا بعض الأشياء الأخرى غير المتوقعة، أحد هذه الأشياء هو تفسير محتمل للغموض القديم جدا فى سبب الظهور الدائم للشحنة الكهربية فى مضاعفات نفس الوحدة الأساسية الثابتة. وباعتبار أن إلكترونا له شحنة -1 وبروتونا له شحنة +1، فللكوارك أسفل أصغر وحدات الشحنة وهى $-^{1}/_{3}$ وجميع الشحنات الأخرى هى مضاعفات صغيرة من هذه القيمة، سواء وجدت على الكواركات أو الليبتونات أو الجسيمات حاملة القوى . وقبل ظهور النظريات الموحدة الكبرى لم يكن هناك سبب

معروف لأن توجد الجسيمات بأية قيمة من الشحنة، وحتى بقيم مثل (X). وفى النظرية الموحدة، مع ذلك، فهذا غير مسموح به. فهناك قوانين صارمة مفروضة من حقيقة أن جميع الجسيمات تنتمى إلى مجموعات أسرية كبيرة يمكن أن تتبادل الجسيمات الحاملة لوحدات ثابتة من الشحنة. وعلى سبيل المثال، ففى انحلال البروتون عندما يتحول الكوارك أسفل إلى بوزيترون ويغلف شحنة $^{-3}/4$ على الـX، فإن الكوارك أعلى الذى يمتصها يجب أن يكون له الشحنة الصحيحة ليصنع شحنة الكوارك النقيض الصحيح بعدها يمتص الـX. ويجب أن يكون الحساب متوافقا، والذى يعنى أن كل الجسيمات فى العائلة يجب أن يكون لها شحنات هى مضاعفات بسيطة من أحدها الآخر(أو عدم وجود شحنة على الإطلاق) .

ومع ذلك، فالاختلاف بين النظريات الموحدة الكبرى هو فى حقيقته أنه لا توجد نظرية فريدة ، وليس هناك أمل أيا كان فى أن يصبح من الممكن الوصول إلى تجريب مباشر. كيف يمكننا حينئذ أن نميز بين النظريات المنافسة؟ فإذا كانت النظريات الموحدة الكبرى تصف عالما صغيرا ونشطا لا يمكننا أبدا أن نرصده، ألم تغير الفيزياء طبيعتها إلى فلسفة محضة؟ ألسنا فى نفس الوضع مثل ديموكريتس والفلاسفة اليونانيين الآخرين الذين قطعوا وقتا طويلا فى التفكير فى أشكال وخصائص الذرات دونما أمل فى رصدها ؟

ويأمل بعض الفيزيائيين بشكل محموم عكس ذلك ، وهم يشيرون إلى ثلاثة أطواق نجاة لا يزال يمكنها أن تعطينا ثقة بالفيزياء على مقياس التوحيد، وسوف نلقى نظرة على كل منها على حدة .

الهوامش

(1) القوة النووية الضعيفة: قوة فيزيائية أساسية تحكم التفاعلات بين الهادرونات واللبتونات(كما في حالة انبعاث وامتصاص النيوترونوات) وهي المسئولة عن عمليات انحلال الجسيم(مثل انحلال بيتا) في النشاط الإشعاعي،وهي أضعف بمقدار 105 مرة من القوة الشديدة،وأنها تؤثر على مسافات أصغر من مسافة النويات في نواة ذرية. المترجم

(2) القوة النووية الشديدة : قوية فيزيائية أساسية تؤثر على الهادرونات وهي المسئولة عن ربط البروتونات والنيوترونات مع بعضها في النواة الذرية،وعن عمليات تكوين الجسيمات في التصامات عالية الطاقة،وتعتبر أقوى القوى الفيزيائية الأساسية المعروفة لكنها تؤثر فقط على مسافات مشابهة للمسافات الموجودة بين النوى في نواة ذرية. المترجم

(3) استقطاب: ظاهرة فيزيائية،تحدث عادة في اتجاهات مختلفة،إلى تفضيل اتجاه معين.

الفصل التاسع

البحث عن نظرية موحدة كبرى

1 - مشكلة تحلل البروتون :

فى الأسبوع الذى أعلنت فيه معامل (سيرن) عن اكتشاف جسيم Z، كان ستيفن واينبرج يحضر اجتماعاً للجمعية الملكية فى لندن. وقال إنه انتابه الحزن بعض الشيء على مستقبل الفيزياء الأساسية. وربما يبدو هذا مثير للدهشة؛ إذ كيف يمكن لواينبرج، الذى تأكدت نظريته فى الأسبوع ذاته بصورة ملفتة للنظر ، أن يحزن على سير الأمور فى الفيزياء ؟ .

ومثل جميع الفيزيائيين النظريين اللامعين، كان واينبرج متجاوزا أقرانه التجريبيين بقفزات عديدة. فقد تجاوز اهتمامه منذ زمن طويل من نظرية الكهروضعيفة Electo Weak Theory إلى التوحيد الكبير ، . فلم يكن سبب إحباط واينبرج النتيجة الإيجابية الرائعة التى قامت بها سيرن، بل النتيجة السلبية الأقل ذيوعا لتجربة بحيرة إيرى (1) Lake Erie

كانت تجربة بحيرة إيرى إحدى التجارب العديدة المتكررة على مستوى العالم، التى يحتمل أن كانت ستقدم الأمل الأفضل والوحيد لاختبار النظريات الموحدة الكبرى، وتضفى أثر شاحب على الفيزياء فى مستوى التوحيد. كان هناك هدف واحد لجميع هذه التجارب - استكشاف بروتون واحد يتفتت أو يتحلل. وقد كان التنبؤ المثير للنظريات الموحدة الكبرى بأن البروتونات غير مستقرة شيئا مباغتا لمعظم الفيزيائيين،على الرغم من أنه كما شرحنا، كانت الفكرة مدروسة ومعدة للتطبيق منذ بعض سنوات. ولمدة طويلة أجريت التجارب لتعيين حدود أعمار البروتونات ، لكنها كانت جميعا ذات طبيعة روتينية. ولم يتوقع أحد أن يجد بروتونا يتحلل .

(1) بحيرة إيرى: رابع أكبر البحيرات العظمى،تقع فى أمريكا الشمالية على الحدود ما بين كندا والولايات المتحدة.

وعندما ظهر من النظريات الموحدة الكبرى أن مقياس كتلة التوحيد هو حوالى 10^{14} كتلة بروتونية، بات من الواضح على الفور أن الفيزيائيين لن يصلوا إلى استكشاف فيزياء موحدة كبرى عن طريق التجريب المباشر. والأمل الوحيد هو فى اختبار يكون له بعض التأثيرات غير المباشرة على النظريات الموحدة الكبرى، وكان انحلال البروتون هو الاختيار الواضح . ويتوقف نصف العمر الدقيق لبروتون عادى تنبأت به النظرية على النمط الذى سيتم اختياره من النظريات الموحدة الكبرى، ولكن معظمها، بما فيها أبسطها (التى تعرف بشكل غامض بـ 'SU(5)') " أى التوحيد التماثل بالمستوى الخامس " تعطى رقما فى حدود 13^{10} سنة. ويمثل هذا الرقم ما يعادل 10^{21} مرة قدر العمر الحالى للكون .

كيف يمكن لعملية تحتاج لهذا الزمن البالغ الضخامة أن يرصدها إنسان؟ وتكمن الإجابة فى أن كل بروتون لا يحتاج زمن 10^{31} سنة حتى يتحلل . وتقضى قوانين فيزياء الكم بأنه لا يمكن التنبؤ بكل حدث فردى من أحداث الانحلال، فالعمر المتوسط هو الذى يحدث عند زمن 10^{31} سنة، يعنى أنه إذا جمعت 10^{31} بروتونا يمكنك أن تراهن بكل ثقة تامة بأن واحدا منها سينحل فى غضون سنة أو سنتين . وتلك هى الطريقة المتبعة فى كل تجارب انحلال البروتون، حيث تؤخذ عدة أطنان من المادة إلى مكان بعيد عن الأشعة الكونية Cosmic Rays، وتراقب بصورة مستمرة لمشاهدة حدث انحلال واحد مفاجئ. وتعد الأشعة الكونية مصدر إزعاج كبير، لأنها تغمر الأجهزة الدقيقة بجميع أصناف وأشكال الجسيمات غير المرغوبة. ولتجنب هذا التلوث تجرى التجارب تحت سفح جبل أو داخل منجم عميق، وحتى فى هذا الموقع لا يمكن تحاشى جسيمات النيوترينو .

وقبل مجىء النظريات الموحدة الكبرى، كانت أفضل تقديرات عمر البروتون هى 10^{28} سنة. ويعتبر هذا رقما ضخما ، على الرغم من أنه يشير إلى شىء مخيب للآمال . إذ أنه أفضل مثال يدل على شىء معروف للإنسان لا يمكن حدوثه . فهذا الشىء المعروف على وجه التحديد لا يحدث إلا فى مدة لا تقل عن 10^{28} سنة . ومع ابتداء النظريات الموحدة الكبرى، تلقت قياسات عمر البروتون تشجيعا قويا . وللتحقق من تنبؤ النظريات الموحدة الكبرى، كان يجب أن يبرهن على دقة التجارب بمعامل Factor لا يقل عن ألف مرة، ويعنى هذا إجراء تجارب أكثر إتقانا وأكثر تكلفة .

وكان الأمل فى الكشف الحقيقى عن إنحلال بروتون أمرا مثيرا للفيزيائيين لدرجة أن عدة مجموعات بحثية اشتركت فى السباق. ومن بين الرعيل الأول، كان هناك مشارك يابانى وفريق هندى ، قاموا بإنشاء طبقة من البلاطات الحديدية فى مكان عميق بمنجم هندى. وكان يغلف هذه الكتلة الخاملة من المادة من الظاهر كردونا من كاشفات الجسيمات، معدة للكشف عن إنحلال نواتج بروتون. وفى أوائل ربيع عام 1982، أذيع خبر: تم رصد العديد من "الأحداث المنتخبة"، التى أوحت بأن البروتونات كانت تنحل عند عمر يصل حوالى 10^{31} سنة ، كما تنبأت به أبسط النظريات الموحدة الكبرى .

وقوبل الخبر باهتمام كبير مع شيء من الحذر. فحتى عند الأعماق التى أجريت فيها التجربة كانت الأشعة الكونية وجسيمات النيوترينو لا تزال تحاكى تأثيرات إنحلال البروتون، وكانت هناك حاجة إلى تجارب أخرى لتأكيد النتائج قبل أن يطمئن الفيزيائيون . وبعد عدة شهور، سجلت تجربة سيرن تحت الجبل الأبيضMont Blanc حدثا محتمل الحدوث، وبدأ الاهتمام يتزايد. وبدا أننا نقترب بجهد جهيد من عتبة مجال جديد فى الفيزياء .

وقد أولى اهتمام كبير لبعض النتائج التى يحتمل حدوثها ، إذ كان البروتون فى الحقيقة غير مستقرا. ولما كانت البروتونات هى وحدات البناء لجميع المواد النووية، فإذا كان مصيرها جميعا الانحلال ، فيعنى هذا أن الكون فى النهاية سيزول تماما، ولن يكون ذلك بشكل مفاجئ بطبيعة الحال ، إنما ستتلاشى كل صور المادة بشكل تدريجى على مدى فترات زمنية طويلة بصورة لا رجعة فيها. فإذا كان تقدير 10^{31} سنة صحيحا، فيعنى هذا أنه خلال فترة حياتك، ستكون هناك فرصة سانحة لأن يختفى على الأقل بروتونا واحدا من جسمك .

وماذا عن مكونات الذرات الأخرى، النيوترونات والإليكترونات؟ نفس العملية التى تسبب إنحلال البروتون يمكن أن تدمر أيضا النيوترونات، على الرغم من أن العديد سيخضع لعملية انحلال بيتا Beta Decay، الأكثر تقليدية . فكل بروتون يتحلل يترك شحنته الكهربية على بوزيترون، الذى يعتبر المادة النقيضة المناظرة للإليكترون. وكل ظهور للبوزيترون سيبحث عن إليكترون ويدمره . وبما أن هناك نفس العدد من الإليكترونات مثل البروتونات فى الكون منذ البداية، فمن المحتمل أن يقضى فناء الإليكترون–البوزيترون على كل الإليكترونات. والنتيجة النهائية ،حينئذ ، هى أن 10^{50} طنا من المادة فى الكون المرئى ستؤول فى يوم ما إلى عدم، إنها مسألة تدعو للقلق .

وحتى يتقين الفيزيائيون من هذا السيناريو، كان عليهم أن يتحققوا فى البداية من الادعاءات الأولى بأن إنحلال البروتون كان حقيقة. وأجريت تجارب أكثر دقة فى كافة أرجاء العالم، وكان أفضلها استخدام منجم ملح على عمق 600 متر تحت بحيرة إيرى . وجاءت البروتونات المستخدمة فى التجربة فى صورة 8000 طن من الماء عالى النقاوة ، وضعت فى خزان على هيئة مكعب طول ضلعه ثمانية عشر مترا. وكان يتدلى فى الماء 2000 مضاعف(إليكترونى) ضوئى Photomultiplier Tubes وكان عمل هذه المضاعفات هو الكشف عن نبضات الضوء الدقيقة التى تحدث أثناء انتقال الجسيمات المشحونة سريعة الحركة خلال وسط كثيف. وكان الهدف هو تحديد نواتج الانحلال النشط للبروتونات المنحلة عن طريق تسجيل هذه الومضات الضوئية الوجيزة. فإذا كان تقدير العمر 10^{31} سنة صحيحا، يجب أن تسجل تجربة بحيرة إيرى أحداث عديدة خلال الشهور الثلاث الأولى من بدء التجربة. ومن المصادفة ، لم يحدث إنحلال بروتون واحد. فقد بدا كما لو كانت التقارير الأولى خاطئة، وتضائل الأمل فى رؤية بروتونات تتحلل .

هذه النتيجة السلبية لا تهدم النظريات الموحدة الكبرى، لكنه يبدو أنها تستبعد أبسط صور التوحيد الكبرى. وهناك أكثر النظريات تعقيدا التى تتنبأ بأعمار بروتونية كبيرة ، ولكن لا يحتمل حينئذ أن يشاهد إنحلال بروتون فى أى وقت؛ سرعان ما تقترب التجارب من الحد النظرى للدقة.

وإن ظهر أن إنحلال البروتون هو الزقاق المسدود ، فسوف يعطى المزيد والمزيد من الاهتمام للمعالجة التجريبية الأخرى الوحيدة التى يعرف بأنها يمكن أن تقدم إطلالة من الفيزياء على مقياس التوحيد، ألا وهى الجسيمات أحادية القطب المغنطيسى magnetic monopole

2 - البحث عن الجسيمات أحادية القطب :

ذكرنا فى مواضع كثيرة فى الفصول الأولى التماثل الخرافى والجمال الموجود فى معادلات الكهرو مغناطيسية لماكسويل. ومع ذلك ، فهناك عيب غريب يشوه بطريقة أخرى الأناقة السليمة لهذه النظرية. فالمعادلات تتعامل مع الكهربية والمغناطيسية بصورة غير متكافئة. وعلى الرغم من أن هاتين القوتين متداخلتين بصورة عميقة ،

إلا أنهما لا يدخلا النظرية بصورة متماثلة تماما. فالمجالات الكهربية Electiic Fields تنتج إما من خلال شحنات كهربية أو من خلال مجالات مغناطيسية متغيرة، فى حين تنتج المجالات المغناطيسية بواسطة مجالات كهربية متغيرة فقط. ويبدو أنه لا يوجد سبب مجبر، رغما عن ذلك، لإمكانية إنتاج المجالات المغناطيسية أيضا بواسطة شحنات مغنطيسية(والمجالات الكهربية بواسطة تيارات مغنطيسية) .

وللقضيب المغناطيسى العادى قطبا شماليا وقطبا جنوبيا، فى حين يكشف تحليل أعمق عن أن المغناطيسية تنتج بالفعل بواسطة تيارات كهربية تنتقل على المستوى الذرى. ولما كانت دائرة تيار كهربى مقفلة لا بد وأن تنتج زوجا من الأقطاب المغنطيسية، قطبا شماليا فى أحد جوانب الدائرة وقطبا جنوبيا فى الجانب الآخر من الدائرة ، فإن المغناطيس سيصبح "ثنائى القطب"،أى له قطب شمالى وقطب جنوبى. وبما أنه ليس من الممكن لدائرة تيار كهربائية مقفلة أن تنتج قطبا واحدا فقط أكثر من أن تكون لعملة وجها واحدا، لذا فمن المستحيل استخلاص قطب واحد – " قطب أحادى" Monopole – من قضيب مغناطيسى .

ويظهر البحث أن كل المغناطيسات ثنائية القطب Dipoles. وإن وجدت أقطاب أحادية مغناطيسية فلابد وأن يكون إدراكها صعب للغاية. وقد فشل البحث المنتظم فى الصخور بما فيها صخور القمر، والمادة الموجودة فى قاع المحيط فى الكشف حتى عن شحنة مغنطيسية نقية واحدة. وقد أدى هذا بالعديد من الفيزيائيين إلى افتراض أن الأقطاب الأحادية المغنطيسية غير موجودة . وإن كان الأمر كذلك ، فستكون المغناطيسية دائما منتجا ثانويا للكهربية ليس إلا. وسيعنى هذا التسليم بأن الطبيعة لا تعدل بين الكهربية والمغناطيسية .

فى عام 1931، اكتشف الفيزيائى النظرى البريطانى بول ديراك Paul Dirac أنه يوجد مكان بالتحديد فى فيزياء الكم للأقطاب الأحادية المغناطيسية ، ومع ذلك فلم تختار الطبيعة أن تفيد نفسها من هذه الإمكانية. وأرجع ديراك وجود الأقطاب الأحادية المغناطيسية إلى أوجه موجات الكم، وبإجرائه هذا أوجد علاقة مثيرة بين الشحنات الكهربية والمغناطيسية. ويقول ديراك أنه إذا كان القطب الأحادى

المغناطيسى موجودا، فيجب أن تكون الشحنة المغناطيسية التى يحملها ضعف كمية أساسية ثابتة، والتى تحدد بالتالى بواسطة وحدة أساسية من الشحنة الكهربية. ولذلك السبب فإن ظهر قطبا أحاديا، فسنعرف على الأقل نوع كمية الشحنة المغناطيسية التى نتوقعها .

وعلى الرغم من أن تحليل ديراك أوجد مكانا فى الفيزياء للأقطاب الأحادية المغناطيسية فلم يفرض وجودها بالقوة. وعلى مدى نصف قرن تقريبا كتب الشىء القليل عن هذا الموضوع . بعد ذلك، فوجئ مجتمع الفيزياء فى عام 1975، بإعلان عن اكتشاف قطب أحادى مغناطيسى بين الأشعة الكونية، واتضح أن الخبر زعم زائف، لكنه أعطى تشجيعا لإثارة الاهتمام مرة أخرى بالموضوع. وكان مما أدى إلى هذه الموجة من الإثارة هو بعض الأفكار النظرية التى تناولت مفهوم القطب الأحادى خارج نطاق بحث ديراك تماما. وفى الأساس، اكتشف الباحثون أن الأقطاب الأحادية المغناطيسية نتيجة حتمية تقريبا للنظريات الموحدة الكبرى .

واخترع العالم هوفت ' Hooft وأيضا ألكسندر بولياكوفAlexander Polyakov فى موسكو القطب الأحادى الموحد الكبير Grand Unified Monopole الذى يعرف اختصارا باسم((GUM) وقد اقترح بحثهما النظرى أنه إذا كانت الأقطاب الأحادية الموحدة الكبرى موجودة، فستكون لها بعض الخصائص الغريبة. أولا، لكل قطب أحادى كتلة أكبر من كتلة التوحيد، أى حوالى 10^{16} كتلة بروتونية، حيث تجعلها فى ثقل الأميبا، ولن تكون جسيمات دقيقة. وبدلا من ذلك ، سيكون لها بنية داخلية معقدة ، تتكون من نطاقات قوى تشبه كثيرا طبقات البصلة.

ولما كان الإنتاج المباشر لهذه الجسيمات الفائقة الضخامة أمرا محالا، لذا لجأ المتحمسون للقطب الأحادى إلى علم الكون. فهل يمكن أن تكون الأقطاب الأحادية الموحدة الكبرى قد صنعت من مادة عادية أثناء الانفجار العظيم وظلت حتى اليوم فى صورة بقايا ؟ وقد أجريت الحسابات بحماس لرؤية عدد الأقطاب الأحادية التى يتوقع المرء أن تكون قد بقيت . ولحيرة الباحثون الشديدة بدا أن هناك وفرة من الأقطاب الأحادية الموحدة الكبرى . وبالفعل ، فتبعا لأحد التقديرات، يجب أن تكون الأقطاب الأحادية المغناطيسية منتشرة فى الكون كالذرات. ومن الواضح أنه كان هناك خطأ

صــارخــا. وتأتى الحـدود الصــارمــة لوفـرة الأقطاب الأحـادية من فـحص المجـال المغناطيسى للمجرة. وحتى فى أحسن الأحوال، سوف تفوق الأقطاب الأحادية الذرات عددا بنحو 10^{16} مرة .

ولا يزال الباحثون منقسمين على ما يمكن عمله بعد ذلك ، ويشيرون إلى الخلاف "بمشكلة القطب الأحادى". وفى الفصل الثانى عشر، سنتعرض لبعض الأفكار الحديثة التى يبدو أنها ستحل مشكلة القطب الأحادى بطريقة أنيقة جدا. وفى هذه الأثناء، يجب أن نوجه الانتباه إلى بعض النتائج المحتملة التى يمكن توقعها إذا ما كانت الأقطاب الأحادية المغناطيسية منتشرة فى الكون بشىء يشبه الوفرة القصوى التى تسمح بها الأرصاد الفلكية. وتقترح التقديرات أن حوالى 200 قطبا أحاديا فى السنة لا يزال يمكنها أن تضرب كل كيلومتر مربع من سطح الأرض وهى قادمة من الفضاء. وإذا أمكن الكشف عن واحد فقط من هذه الأقطاب، فيمكن أن تقدم تأكيداً رائعاً على التوحيد الأكبر .

وقد حفز هذا التوقع على إجراء بعض الأبحاث عن الأقطاب الأحادية الكونية بواسطة دوائر تيار كهربى مغلقة. وترتكز الفكرة وراء هذه التجارب على خصائص مواد معينة تعرف بالموصلات فائقة التوصيل superconductors تسمح بسريان الكهربية عند تبريدها لدرجة حرارة منخفضة جدا. والموصلية الفائقة superconductivity هى فى الأساس أثر كمى، وإحدى الخصائص المهمة لتيار كهربى يتدفق حول دائرة كهربية موصلة فائقة التوصيل هى أن المجال المغناطيسى التى تولده يكون مجالا "مكمى، خاضعا لقوانين النظرية الكمية "quantized، أى أنه لا يأتى إلا فى صورة وحدات دفق Flux ثابتة. وإذا ما حدث أن قطبا أحاديا مغناطيسيا مر بصورة مباشرة خلال دائرة كهربية ، فسوف يرى التدفق حينئذ قافزا بعدد معروف من وحدات الكم .

وفى الرابع عشر من فبراير عام 1981، كشفت بلاس كابريرا Blas Cabrera من جامعة ستانفورد عن تلك القفزة من الدفق. وأحدثت الأرصاد شيئا من الشعور بالفرح ،

وقد اعتبرها القائم بالتجربة أول دليل مباشر على قطب أحادى مغناطيسى قادم من الفضاء. واندفعت مجموعات أخرى من الباحثين تجرى تجاربها لتأكيد نتيجة كابريرا، لكنها لم تصل إلى نتيجة مرضية حتى الآن. وأثناء إعداد هذا الكتاب ظهر اعتقاد متنام بأن القطب الأحادى لكابريرا ربما يكون نذير زائف آخر .

وفى هذه الأثناء ، انشغل باحثون آخرون باستنباط ما يمكن أن نراه أيضا إذا ما أمطر الفضاء الأرض بوابل من الأقطاب الأحادية. ومن إحدى السمات المميزة لقطب أحادى موحد كبير هو كتلته الضخمة، التى تتضمن على قدر هائل من الطاقة 10^{16} مرة قدر الطاقة التى يمكن أن تنطلق من نواة يورانيوم فى مفاعل نووى. وفى الحقيقة يحتاج صاحب منزل للوفاء باحتياجاته من الطاقة إلى عدد قليل من عشرات الأقطاب الأحادية فى اليوم .

ولإطلاق هذه الطاقة، عليك أن تفنى قطبا أحاديا مع قطبا أحادى نقيضا ، والذى يعنى قطب شمالى مع قطب جنوبى. ويصاحب نشأة كل قطبا شماليا ظهور قطبا جنوبيا، وعلى ذلك سيكون هناك فى المتوسط العديد من الأقطاب الشمالية التى تضرب الأرض كالأقطاب الجنوبية. وبما أن الأقطاب الأحادية المغناطيسية ستكون مستقرة عندما تنغمر فى مادة عادية ، فيمكن جمعها بشكل منتظم وفصلها إلى شماليات وجنوبيات ، وتخزينها فى شكل من أشكال "الزجاجات" المغناطيسية. وفى الوقت المناسب ، يمكن خلط بضع شماليات مع بضع جنوبيات لإطلاق كميات هائلة من الطاقة . وعلى نطاق واسع ، يمكن استخدام هذا التفاعل ، بالطبع، كأسلحة ثنائية فعالة بصورة مخيفة .

وفكر بعض علماء الفيزياء الأرضية فى أن شيئا من هذا القبيل يمكن أن يحدث بصورة طبيعية داخل الأرض. فالأقطاب الأحادية تتباطأ فى سرعتها فى طريقها نحو باطن الأرض، عندئذ تغوص نحو لب الأرض ، وتتراكم. ويكون تأثير المجال المغناطيسى الأرضى بجذب الشماليات جهة الشمال ويجذب الجنوبيات جهة الجنوب، ويمنعها من أن تمتزج ببعضها بصورة فعالة. إلا أنه فى فترات الانعكاس المغنطيسى الأرضى geomagnetic reversal تتبادل المجموعتان الشمالية والجنوبية أماكنهما،

وأثناء هجرتها فى اتجاهات معاكسة، تقع العديد من المناوشات الشمالية-الجنوبية محدثة إفناء جماعى. وأشير أيضا أن هذه العملية ربما تكون مسئولة إلى حد كبير عن الحرارة المتولدة فى باطن الأرض .

وتمثل أبحاث إنحلال البروتون والأقطاب الأحادية المغناطيسية أملا متضائلا ربما تلمحه فى يوم من الأيام الفيزياء على مستوى التوحيد بواسطة التجارب. ومن السابق لأوانه الكتابة عن هذه الأبحاث، غير أن العديد من الفيزيائيين توصلوا إلى نتيجة وهى أن المبادرة تكمن الآن فى أيدى الباحثين. ويعتقد بعض الفيزيائيين النظريين أن النظريات الموحدة الكبرى هى الكلمة الأخيرة. وعلى الرغم من كل شىء ، فقد نجحت النظريات الموحدة الكبرى فى دمج ثلاث فقط من أربع قوى أساسية. ما هى الآفاق الجديدة التى يمكن التطلع إليها إذا ما أصبحت النظرية الموحدة الكبرى موجودة بصورة حقيقية ؟

3- سيطرة القوة العظمى :

الجاذبية هى قوة الطبيعة المتفردة عن القوى الأخرى، ويمكن لقوى الطبيعة الثلاث الأخرى أن تمثل بواسطة مجالات القوى تمتد عبر الفضاء والزمن ، غير أن الجاذبية هى فضاء وزمن. وتصف النظرية العامة للنسبية لآينشتاين الجاذبية بأنها مجال ملتو ، مجال تكور فى هندسة الفضاء - الزمن ، فهى ليست سوى خواء ممزق.

وربما تكون الطبيعة الهندسية لمجال الجاذبية طبيعة أنيقة غير أن لها نتائج خطيرة بالنسبة لأى وصف كمى. وفى الواقع، ولعدة عقود، قاومت النظرية العامة للنسبية لآينشتاين كل المحاولات لصياغة كمية متسقة . وعلى الرغم من حقيقة أنها مجال قياس ، فإن وصف الجاذبية على أساس تبادل جسيم جرافيتون يعطى إجابات معقولة لأبسط أنوا ع العمليات ليس إلا . وتكمن الصعوبة، كما هى دائما، فى الحدود اللانهائية التى تظهر كلما حدثت حلقات جرافيتون مقفلة.

إن مشاكل اللانهائيات لمجال الجاذبية متفاقمة ، لأن الجرافيتون ذاته "مشحون" بصورة تجاذبية . وفى هذا الخصوص ، فإنه يشبه الجليون الذى يعتبر وسيطا للقوة الشديدة ، ومع ذلك فإنه يحمل أيضا "شحنة" لونية. ولما كانت كل صور الطاقة - بما فيها الجرافيتونات - تعتبر مصدر جاذبية ، فربما نقول إن الجرافيتونات تتجاذب.

ويعنى هذا أن اثنين من الجرافيتونات يمكن أن يتفاعلا عن طريق تبادل جرافيتون ثالث كما هو مبين بشكل 21 ويمكن تصور المزيد من شبكات الجرافيتونات المتقنة بسهولة ، ومن الواضح أن حلقات الجرافيتون المقفلة (شكل 22) تنتشر بسرعة بمجرد التفكير فى عمليات أخرى غير تبادل الجرافيتون البسيط .

وظهور سلاسل لا حد لها من اللانهائيات فى معادلات الجرافيتون ينظر إليه على أنه انحراف متأصل الجذور فى جاذبية الكم المبنية على أساس النظرية الأصلية لآينشتاين. ويذكرنا الموقف بالقوة الضعيفة قبل اتحادها مع الكهرومغناطيسية. وكلا النظريتان " لا يمكن تطبيعهما طبقا للقياس والقواعد ". ففى حالة القوة الضعيفة، تكمن الإجابة فى التماثل symmetry. ولا يوجد بالنظرية القديمة ما يكفى منه. وبمجرد أن ينشأ تماثل قياسى قوى، تتهاوى اللانهائيات كالسحر. وبالاسترشاد بهذا الدرس، بدأ الباحثون منذ عشر سنوات مضت فى البحث عن تماثل جديد أكثر قوة من أى تماثل معروف من قبل، ينقذ الجاذبية من وضع عدم القدرة على التطبيع. وقد جاءوا بفرط التماثل supersymmetry .

وتتركز الفكرة الأساسية لفرط التماثل على مفهوم اللف Spin كما يفهم من فيزياء الجسيمات. وعندما يتحدث الفيزيائيون عن جسيم له لف فإنهم يقصدون شيئا آخر غير الفكرة البسيطة لكرة صغيرة تدور حول محور. وقد نوقش شىء من غرابة لف الجسيم فى الفصل الثانى. وجسيم ذى لف له وجهة نظر غريبة "مزدوجة الصورة" عن الكون ، شيئا مناقضا تماما للفكر الهندسى .

ووجود اللف أساسى فى طبيعة الجسيمات لدرجة أنه يقسمها إلى طائفتين متميزتين. فبعض جسيمات "البوزونات" Boson ليس لها لف ،أى أن لفها صفر ، مثل جسيم هيجز التخيلى، أو لها عدد صحيح من وحدات اللف. وتشمل هذه الطائفة الفوتون والجسيم W والجسيم Z، وجميعها ذات وحدة لف واحد ، والجرافيتون ذى وحدتين من وحدات اللف. ويكون سلوك البوزونات متماشيا مع البديهة طالما كان اللف مأخوذا فى الاعتبار .

وتوجد الفيرميونات Fermion فى الطائفة الأخرى. ولهذه الفيرميونات أنصاف وحدات صحيحة من اللف. وتعتبر جميع الكواركات والليبتونات فيرميونات ، ولكل منها

لف يساوى نصف وحدة. إنه لف الفيرميون الذى يشكل عبئا ثقيلاً على التصور بخاصية الدوران المزدوج .

والاختلاف ما بين البوزونات والفيرميونات اختلافا كبيرا فى الفيزياء ، حيث يظهر بشكل قوى خاصة عندما تتجمع هذه الجسيمات جملة واحدة. والفيرميونات – وهى الجسيمات ذات نصف العدد الصحيح من قيم اللف مثل الإليكترونات – ينتابها نوع من الخوف من كل ما هو غريب ، ولا تسمح لأقاربها بالاقتراب منها . وعندما كانت فيزياء الكم فى مهدها، صاغ العالم النمساوى وولفجانج باولى "مبدأ الاستبعاد" exclusion principle الشهير الذى يمنع أى أثنين من الإليكترونات من أن يشاركا نفس حالة الكم. ويعنى هذا أنه إذا كان لديك وعاء ذا حجم ثابت، فهناك عدد كبير من الإليكترونات يمكن أن تضعها فيه قبل أن تبدأ فى الاحتجاج. (وليست لهذه الظاهرة علاقة بالرفض الكهربى، الذى يعتبر مسألة مستقلة. فجسيمات النيوترينو أو النيوترونات تعتبر غير اجتماعية على السواء.) وكان مبدأ باولى نجاحا مبكرا بشكل ملحوظ لفيزياء الكم، لأنه يفسر سبب عدم اندفاع جميع الإليكترونات فى الذرات الثقيلة إلى نفس مستوى حالة الطاقة المنخفضة وتقع فى نزاع ، وبدلا من ذلك، تتكدس بطريقة منتظمة وتملأ كل مستويات الطاقة على التعاقب داخل الذرة. وبدون هذا النظام، تصبح الكيمياء عملية محفوفة بالمخاطر فعلا. وباستخدام مبدأ باولى المهم يمكن تفسير تنظيم الجدول الدورى للعناصر الكيميائية بطريقة سهلة .

ويفسر مبدأ باولى قدر كبير مما يحدث فى العالم ، كالاختلاف بين الموصلات والعوازل الكهربية. وفى موصل، تكون لبعض الإليكترونات حرية امتصاص الطاقة من مجال كهربى مستخدم وتتسارع نحو مستويات الطاقة الأعلى. وفى أى عازل، لا يمكن حدوث ذلك لأن كل المستويات الأعلى التى يمكن الوصول إليها قد تم شغلها بالكامل بإليكترونات أخرى. ويفسر نجاح آخر لمبدأ باولى القوة التى تدعم النجوم القزمية البيضاء White dwarf والنجوم النيوترونية ضد انهيار الجاذبية . وبدونه، تنهى كل النجوم حياتها فى صورة ثقوب سوداءBlack Holes .

وفى مقابل سلوك الفيرميونات الانعزالى ، تفضل البوزونات بشكل إيجابى أن تتجمع مع بعضها البعض ، ولا يوجد مانع لأى عدد منها أن يتواجد فى نفس المكان .

وهنا لا يعمل مبدأ الاستبعاد، ويكون سلوك البوزونات المتكتلة كذلك سلوكا مختلفا تماما عن أبناء عمومتها من الفيرميونات . فيمكنها أن تنسحق أو تنعصر في نفس الموضع ونفس المكان دونما احتجاج. وبسبب هذا السلوك التعاوني يمكن للبوزونات الفردية أن تعمل معا كفريق، حيث تتعاضد بدلا من أن تتنافر مع بعضها البعض. وبهذه الطريقة، يمكن لأعداد كبيرة من البوزونات العمل بشكل متناسق وإحداث تأثيرات واضحة يمكن ملاحظتها بشكل مباشر. وعلى سبيل المثال، يمكن لأعداد ضخمة من الفوتونات أن تندمج بصورة متماسكة كي تنشئ حركة كهرومغناطيسية محددة مثل موجة راديو. ولا يمكن للفيرميونات أن تفعل هذا أبدا لأنها ستعترض طريق إحداها الأخرى. وذلك هو السبب –على الرغم من حقيقة أن للإليكترونات أيضا موجة مصاحبة– في أننا لا نرى موجات إليكترونية مرئية للعيان .

والاختلافات الفيزيائية القوية بين الفيرميونات والبوزونات جعلت الفيزيائيين، على مدى عقود ، يصنفوها في مناطق مستقلة نوعا ما. وعلى وجه الخصوص، فكل الجسيمات حاملة القوى هي بوزونات، في حين تعتبر الكواركات والبتونات جميعا فيرميونات. وهذا يعني أن البوزونات تميل إلى أن تصاحبها قوة، في حين تصاحب الفيرميونات مادة. وربما يفسر هذا التحديد الواضح السبب، عندما اقترح فرط التماثل لأول مرة في أوائل السبعينات، أن فوجئ العديد من الفيزيائيين، بأن فرط التماثل يوحد البوزونات والفرميونات في نظرية واحدة. وقد يبدو كزواج قسري، أن تكون المجموعتان متمايزتان تماما في خصائصهما، لكنهما يمكن أن يكتملا بالالتجاء إلى عملية تماثل قوية أكثر من تماثل لورنتز– بوانكيريه، ذلك التماثل الذي يقع في صميم نظرية النسبية. وتشبه عملية فرط التماثل بصورة رياضية، أخذ الجذر التربيعي لتماثل لورنتز–بوانكيريه. وبصورة مادية ، فإنه التماثل الذي يحول فيرميون إلى بوزون والعكس صحيح. وبالطبع، لا يمكننا بالفعل أن نقوم بهذا في العالم الحقيقي بأكثر من أن يمكننا إدارة مقبض لإعادة وضع إليكترونية إليكترون في التماثلات القياسية التي ناقشناها في الفصول الأولى . وعلى الرغم من ذلك، لا يزال يمكن استكشاف العملية بطريقة رياضية، ويمكن وضع النظريات التي تتضمن فرط تماثل كخاصية .

ولم يمض وقت طويل حتى وجه الباحثون العظام انتباههم إلى الجاذبية. يرتبط فرط التماثل ارتباطا وثيقا بالهندسة Geomtiy فإذا كنت تجرى عمليتين فائقتى التماثل على التوالى ، فسوف تجد عملية هندسية بسيطة مثل تغير فى وضع فراغين وفى الواقع، أطلق على رياضة فرط التماثل بأنها الجذر التربيعى للهندسة. ولما كانت الجاذبية هندسة منحنية بحتة ، فإنها تتلقى تعبير طبيعى خلال لغة فرط التماثل، الذى يحدث طبيعة مجاله القياسى بطريقة أكثر قوة .

ولما كان فرط التماثل يوحد البوزونات والفيرميونات، فإنه يدمج جسيمات ذات أنواع لف مختلفة داخل نفس العائلة. ويمكن جمع مجموعات من الجسيمات ، بعض منها ذات لف صفر، وبعضها الآخر ذات لف $^1/_2$ و1، وهلم جرا بحيث تصبح العائلة ككل فائقة التماثل. فإذا أصر أحد، لذلك السبب، على أن الجاذبية هى نظرية فرط تماثل ، فقد يعنى هذا أن الجرافيتون بقيمة لفه 2 ، لا يمكن أن يوجد وحده، حيث يجب أن ينتمى إلى عائلة من الجسيمات بالكامل، ترتبط بلف 2 خلال عملية فرط تماثل. وتشمل هذه العائلة جسيمات ذات لف صفر و$^1/_2$، و1، وعلى الخصوص $^3/_2$. ولم يشاهد جسيما أوليا ذا لف $^3/_2$ ، (على الرغم من أن ثلاث كواركات يمكن أن تصطف لتعطى له قيمته $^3/_2$)، وعلى هذا فالوجود المتوقع لهذا الكيان هو إحدى السمات الجديدة من فرط التماثل .

وتعرف أوصاف الجاذبية فى هذه التعبيرات بنظرية فرط الجاذبية **supergravity**، والطريقة التى تختلف بها فرط الجاذبية عن الجاذبية العادية هى أن الجرافيتون ليس الجسيم الوحيد الذى ينقل قوة الجاذبية، فهذا العمل تقوم به عائلة فرط تماثل كاملة ومساعدة خاصة من جسيمات اللف $^3/_2$ التى لم تكتشف حتى الآن، التى أطلق عليها الفيزيائيون اسم "جرافيتينوز" **Gravitinos** .

وتعتمد التفصيلات الدقيقة لبنية العائلة على كيفية اختيار الباحث لتمثيل فرط التماثل بصورة رياضية . ويعرف التماثل الأكثر قوة بـ "N = 8" فرط جاذبية، ويولد عائلة من الجسيمات ذات حجم هائل: 70 ذات لف صفر، و 56 ذات لف $^1/_2$ ، و 28 ذات لف واحد و8 ذات لف $^3/_2$، بالإضافة إلى الجرافيتون الوحيد نو لف 2، بالطبع. وحينئذ يتبادر سؤال مهم: هل يمكن التعرف على كل هذه الجسيمات مع الجسيمات المعروفة فى الطبيعة، أى مع الكواركات والليبتونات الجسيمات حاملة القوى ؟ فإن كان كذلك ، فسوف يكون بين أيدينا نظرية موحدة عن الطبيعة، لن تجمع فقط كل جسيمات المادة

فى عـائلة عظمى واحـدة ، ولكن تدمج أيضـا كل الجسـيمات حـاملة القـوى ومن ثم كل القوى. وتقدم فرط الجاذبية بذلك إطار عمل للتوحيد الكلى، الذى يوضع فيه العالم كله تحت سـيطرة قـوة سـيـادية واحـدة، قـوة عظمى- تظهـر فى صـور مـخـتلفـة- الكهرومغناطيسية من خلال جسيمات الفوتون، والقوة الشديدة من خلال الجليونات، وهلم جرا- لكنها ترتبط جميعا من خلال فرط التماثل (انظر جدول 5).

وفى الواقع، فإن نظرية فرط الجاذبية تتجاوز هذا. فهى تقدم وصفا موحدا للقوة والمادة. فكلا من القوة والمادة تنشئان من جسيمات كمية، غير أن الفوتونات وجسيمات w وجسيمات Z والجليونات جميعا بوزونات ، فى حين أن الكواركات واللبتونات هى فرميونات. وفى فرط التماثل تعتبر جميعها متحدة. وبالفعل، فكما أن الجرافيتون له جرافيتينوات يذهب معها، فكذلك حاملات القوى الأخرى تتجمع مع جسيمات جديدة تسمى فوتونيوات ، ووينوات، وزينوات، وجليونوات !

جدول (5)

الكهربية	(الكهرومغناطيسية)
المغناطيسية	(ماكسويل،خمسينات القرن 19)
القوة الضعيفة	(القوة الكهروضعيفة)
	(سلام ووينبرج، 1967)
القوة الشديدة	(النظريات الموحدة الكبرى
	(جلاشو وآخرون،1974)
الجاذبية	(القوة العظمى)
	(1990؟)

بدأ التوحيد المتعاقب لقوى الطبيعة بتخليق ماكسويل للكهربية والمغناطيسية فى القرن التاسع عشر. وقد تأسس حاليا اتحاد بين القوة الضعيفة والقوى الكهرومغناطيسية بشكل واضح باكتشاف جسيمات W وZ فى عـام 1983. ولا تزال الدلالة عن التوحيد

الأكبر مراوغة،لكنه يجرى التفكير فيها بصورة تواقة. وتتطور الأسس النظرية لنظرية موحدة عظمى بصورة سريعة، تدمج جميع قوى الطبيعة فى قوة عظمى موحدة .

إن وجود كل هذه "الجسيمات المصاحبة" له تأثير مهم على رياضيات النظرية، وخاصة بالنسبة للسؤال المحير عن القدرة على التطبيع بالمقاييس المألوفة. وإذا أخذنا الكلام على عواهنه ، فسوف يتولد عن "الجسيمات المصاحبة" التى تعتبر فيرميونات ، لانهائيات فى النظرية تكون لها إشارة معاكسة للانهائيات التى تحدثها بوزونات، مثل الجرفيتونات. وعلى ذلك فهناك ميل للتوفيق ، حيث تلغى اللانهائيات السالبة لحلقة الجرفيتونو اللانهائيات الموجبة لحلقة الجرافيتون. وفى الأساس فإن اللانهائيات تقوى تماثل بعضها حتى الموت .

ومنذ الأيام الأولى لفرط الجاذبية، كان هناك أحد الأسئلة المثيرة: هل كان فرط التماثل تماثلا قويا حتى يجعل فرط الجاذبية قابلاً للتطبيع؟ ولم تكن الإجابة على السؤال بالإجابة السهلة. ففرط الجاذبية حاليا تعتبر صناعة كبرى ، إذ تشغل اهتمام عشرات الباحثين ، وتولد مئات الأبحاث كل عام. وأصبحت الرياضيات الحافلة بالتفاصيل أكثر اتقانا لدرجة أن قليل من الأشخاص ممن هم خارج هم الذين يملكنهم مقاومتها .

وبسبب هذا التعقيد ، لا توجد إجابات سريعة متوقعة عن سؤال القدرة على التطبيع، غير أن الإجابات التى تم التوصل إليها مشجعة للغاية. وما يبدو أنه قد يحدث هو أن فرط الجاذبية يتجاوز حد القدرة على التطبيع، حيث تظل اللانهايات فى النظرية غير أنها تتجنب التحايل الرياضى. وبدلا من ذلك، تحاول فرط الجاذبية بشكل واضح إيجاد إجابات محدودة؛ وفى الواقع تظهر جميع الحسابات التى أجريت حتى الآن أن الإجابات بلا استثناء محدودة. وهناك اعتقاد قوى بأنه قد يتم فى النهاية استئصال اللانهايات المميتة من فرط الجاذبية التى أعيت نظرية المجال طوال جيلين .

وفرط الجاذبية هى الإنجاز الرائع فى البحث الطويل عن الوحدة فى الفيزياء. ومع أنها لا تزال فى مراحلها الأولى، إلا أنها تحمل بلا شك أملا كبيرا لحل ثلاثة مشاكل كبرى فى الفيزياء النظرية ، أى ، كيف تدمج جميع قوى الطبيعة فى قوة عظمى

واحدة، وكيف تفسر وجود كل هذه الجسيمات الأساسية – المطلوبة لدعم فرط التماثل– ولماذا تكون الجاذبية بهذا الضعف أكثر من قوى الطبيعة الأخرى .

والثقة فى حصيلة هذه الأبحاث ثقة كبيرة فى بعض النقاط لدرجة أن ستيفن هوكنج يتنبأ بأن N=8 فرط جاذبية هو تتويجا للفيزياء النظرية. ويمكن من حيث المبدأ أن تفسر كل شيء– كل القوى وكل الجسيمات– فى العالم المادى . وإذا كان على حق– وربما يكون من السابق لأوانه أن تبدأ الفيزياء النظرية فى البحث عن مهام فى أقسام الكيمياء الحيوية–حينئذ ستختلف فرط الجاذبية فى أمر أساسى عن جميع نظريات الفيزياء الأخرى. وحتى الآن، كانت النظريات الفيزيائية مجرد نماذج تصف بشكل تقريبى حقيقة الطبيعة . وكلما تقدمت النماذج اقترب الوفاق بين النظرية والحقيقة. ويزعم بعض الفيزيائيين حاليا أن فرط الجاذبية هى الحقيقة، التى يكون فيها النموذج والعلم الحقيقى على وفاق صحيح بصورة رياضية. وأن هذا الوضع الفلسفى قوى جدا، وهو مقياس للشعور بالنشاط والخفة الذى تحدثه صور النجاح الحديثة .

وبجانب هذه الإثارة النظرية ، هناك نفس الآمال الضعيفة لأن تختبر بالتجربة العديد من الأفكار الجديدة. وفى اجتماع للجمعية الملكية العلمية البريطانية ، ركز واينبرج على هذا الطريق المسدود، حيث قال : " يبدو أنه لا يمكن التوصل إلى الجاذبية الكمية بأية تجربة يمكن استنباطها". "وفى الواقع، فإن الفيزياء تتحرك بشكل عام نحو عصر، لا تنتظر فيه الأسئلة الأساسية طويلا حتى تستوضح بتجارب مقنعة. إنه وضع مزعج للتورط فى المتاعب." وقد سألته ما إذا هذا كان يعنى أن الفيزياء تنحدر إلى مجرد فلسفة بحتة. فأجاب : " أنا لا اعتقد ذلك. اعتقد أن عبقرية القائمين بالتجارب سوف تجد مخرجا لهذا." لكنه اضطر إلى أن يقبل بأنه لا يستطيع أن يفكر بما قد يتمخض عنه هذا المخرج .

وفى وقت الكتابة، آنذاك ، تقدم توحيد الفيزياء خطوة للأمام، ويمكن فى النهاية تصور معالم نظرية كاملة عن الطبيعة بصورة غامضة ، حتى وإن كان يبدو الاختبار التجريبى بعيدا . ومثل العديد من الصور المجردة فقد يظهر أنه سراب ، لكنه لأول مرة فى تاريخ العلم يمكننا تصور كيف يبدو شكل نظرية علمية كاملة عن العالم .

الفصل العاشر

أكوان بأبعاد مختلفة

1 - نظرية المجال الموحد :

تكمن روعة الفيزياء فى أنها تفسر العالم من خلال أشياء لا نراها، وربما لا يمكننا تصورها مهما أجهدنا خيالنا. وقد صادفنا من قبل أمثلة عديدة على ذلك ،م ثل : لف الجسيمات ، وازدواجية الجسيم - الموجة والفضاء المرن. ويرى بعض الناس أن هذه الأفكار الغريبة قد تصيب المرء بالجنون أو حتى بالفزع ، بينما يعتبرها آخرين أفكارا مبهجة ومثيرة للاهتمام . وهؤلاء الذين يروقهم الخيال العلمى لا يخفى عليهم أن يجدوا فى الفيزياء الحديثة كم ضخم من الأفكار الغريبة .

وقد حدث مثال واضح لاستخدام المفاهيم المجردة فى تفسير الطبيعة عام 1915، عندما نشر آينشتاين نظريته العامة للنسبية، التى كانت حجر الزاوية فى تاريخ التقدم العلمى ، وأحد الأبحاث النادرة التى غيرت مفهوم البشرية عن العالم. ولا يستند جمال نظرية آينشتاين على قوة وأناقة معادلات مجال الجاذبية فقط ، بل على التغييرات الجذرية الكاسحة لأسسها التصورية ، لأن آينشتاين لم يكتسح جاذبية ومكانيكية نيوتن بضربة واحدة فقط، بل أبطل فكرة الجاذبية ذاتها كقوة. ودعمت النظرية العامة للنسبية فكرة الجاذبية كمجال تشوه هندسى . وبذلك جعل آينشتاين من الجاذبية هندسة بحتة. فما كان يعتبر جذب عبر الفضاء ، أصبح الآن "التواء فضاء"spacewarp .

كانت نظرية آينشتاين تقدما هاما جدا فى وجهة النظر، حتى أصبح لزاما أن يجرى بحث جديد ومدقق لقوى الطبيعة الأخرى . وفى ذلك الوقت، كانت الكهرومغناطيسية القوة الوحيدة الأخرى التى تم التعرف عليها بوضوح. ومع ذلك، فلم يكن هناك وجه شبه بين هذه القوة والجاذبية على الإطلاق . وعلاوة على ذلك، قدم لها ماكسويل منذ عدة عقود وصفا ناجحا جدا ، ولم يوجد دليل على أن نظرية ماكسويل موضع شك .

لقد ظل حلم يراود آينشتاين طيلة حياته أن يمكنه إنشاء نظرية المجال الموحد unified field theory تندمج فيها كل قوى الطبيعة فى مخطط وصفى واحد يتأسس على الهندسة البحتة. وبالفعل ، كرس معظم سنوات عمره الأخيرة فى البحث عن هذا المخطط . ومن عجائب القدر، أن يكون أفضل ما لدينا من أمل لتحقيق حلم آينشتاين ينبع من أبحاث فيزيائى بولندى غير ذائع الصيت، يدعى تيوردور كالوزاTheordor Kalusa، الذى وضع فى أوائل عام 1921 الأساس لمدخل جديد مذهل لتوحيد الفيزياء، ذلك المدخل الذى يعتبر فتحا جديدا فى جرأته .

كان كالوزا مستلهما بقوة الهندسة فى وصف الجاذبية ، ورغب فى تطوير أبحاث آينشتاين كى يضمن الكهرومغناطيسية فى الصياغة الهندسية لنظرية المجال. وقد كان عليه أن ينجز هذا البحث دون أن يغير معادلات الكهرومغناطيسية المقدسة لماكسويل . وما قام به يعتبر مثال نموذجا للتصور المبدع والنظرة الفيزيائية الثاقبة . وأدرك كالوزا أنه يستحيل تحويل نظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل إلى هندسة بالمعنى المفهوم للكلمة عادة ، حتى تسمح بالتواءات الفضاء. وكان تحليله فى غاية البساطة ، حيث قام بتطوير الهندسة بقدر كاف حتى توائم نظرية ماكسويل . وتعتبر طريقته فى هذا طريقة غريبة ومقنعة تماما . وأظهر كالوزا أن الكهرومغناطيسية هى صورة من صور الجاذبية، ليست جاذبية الفيزياء المألوفة، لكنها جاذبية بعد غير مرئى من الفضاء.

اعتاد الفيزيائيون طويلا على اعتبار الزمن بعداً الرابع Founth dimension. وتكشف نظرية النسبية عن أن الفضاء والزمن ليسا بذاتهما صفات كونية من الناحية الفيزيائية . وبدلا من ذلك، فمن الضرورى أن يتحدا فى تركيب واحد رباعى الأبعاد يسمى الفضاء – الزمن spacetime. وما فعله كالوزا كان يتجاوز هذا ، فقد فكر فى أنه لا يزال هناك بعد آخر للفضاء ، وبذلك يصبح للفضاء أربعة أبعاد وخمسة أبعاد بما فيها الزمن . وأوضح كالوزا أنه عندما يتم هذا فسوف يحدث شئ من المعجزات الرياضية . ويسلك مجال الجاذبية فى هذا الكون ذا الخمسة أبعاد تماما مسلك جاذبية عادية، بالإضافة إلى المجال الكهرومغناطيسى لماكسويل، عندما ينظر إليه من المنظور المحدود ذى الأبعاد الأربعة. وما كان يقوله كالوزا فى فرضه الجرىء، هو أنه إذا اتسعت نظرتنا للكون لخمسة أبعاد ، فهناك فى الحقيقة مجال قوة واحد فقط ، وذلك هو الجاذبية. وما نسميها كهرومغناطيسية ما هى إلا ذلك الجزء من مجال الجاذبية

الذى يعمل فى البعد الخامس ، ذلك البعد الإضافى للفضاء الذى أخفقنا فى التعرف عليه .

ولم تدمج نظرية كالوزا الجاذبية والكهرومغناطيسية فى نظرية واحدة فقط ، بل قدمت صياغة هندسية لكلا من مجالى القوة تلك. وموجة كهرومغناطيسية فى هذه النظرية، مثل موجة الراديو، لا تعدو أن تكون سوى تموج فى البعد الخامس. وتفسر الحركة المميزة للجسيمات المشحونة كهربيا فى المجالات المغناطيسية والكهربية بصورة جميلة من افتراض أنها تترنح فى هذا البعد الخامس . وإذا نظرنا بهذه الطريقة، فلن توجد قوى على الإطلاق، مجرد هندسة ذات خمسة أبعاد ملتوية، وجسيمات تنتقل بصورة حرة خلال ساحة من العدم المنظم .

وبصورة رياضية ، فما يعتبر مجال الجاذبية لآينشتاين فى خمسة أبعاد، يكافئ تماما الجاذبية بالإضافة إلى الكهرومغناطيسية فى أربعة أبعاد هو من المؤكد أكثر من مصادفة عابرة. ومع ذلك، كما يبدو، لا تزال نظرية كالوزا محيرة فى أحد الوجوه الأساسية: فنحن لا نرى بعدا رابعا أساسيا للفضاء . فالفضاء الذى ندركه ثلاثى الأبعاد بشكل واضح وبصورة لا تتغير. فإذا كان هناك بعدا رابعا للفضاء ، فأين هو؟ قبل الإجابة عن هذا السؤال، يجب أن يكون من الواضح تماما أيضا، ماذا يعنى مفهوم البعدية concept of dimensioality .

2 - تحديد معنى الأبعاد :

أشاد كتّاب الخيال العلمى لفترة طويلة بميزة وجود أبعاد أخرى للفضاء. وغالبا ما يلجأ الكتاب إلى "أبعاد أخرى" للانتقال بشخصياتهم من مكان إلى مكان عبر الكون ، لعبور فضاء ثلاثى الأبعاد بخطوة القوقعة مقارنة بسرعة الضوء أو أقل. وفى كتاب أرثر كلارك Arthur.Clarke's book2001: أوديسا الفضاء A Space Odyssey ، تنتهى الرحلة إلى المريخ باقتحام جرئ لبوابة فى بعد آخر، يقع فى أحد أقمار المريخ .

بيد أن إعجاب البشرية بالأبعاد لم يبدأ مع الخيال العلمى ، فقد كان لليونانيين القدماء تقدير عظيم بأهميتها فى علم الهندسة. ومن أحد الأمثلة الغريبة التى جعلت رجال الهندسة اليونانيين وجها لوجه مع ألغاز الأبعاد يتعلق بخصائص الأشكال متعددة الأضلاع (الأشكال المقفلة التى تتكون من أضلاع متساوية الطول، مثل

المربعات والأشكال الثمانية والأشكال السداسية،إلخ). وبما أن عدد المضلعات غير محدود؛ فيمكن أن يكون لها أي عدد من الأضلاع. وفي المقابل، لا يوجد إلا خمسة أنواع فقط من الأشكال متعددة السطوح (الأسطح المقفلة المتكونة من أشكال منتظمة مثل المثلثات المتوافقة مع بعضها). وكما هي العادة ، أضفى اليونانيون على هندستهم أهمية سحرية عميقة، وحتى بطليموس Ptolemy كتب دراسة عن الأبعاد، قال فيها أن الطبيعة لا تسمح إلا بثلاثة أبعاد فقط للفضاء .

وفي العصر الحديث، طور رياضيون من أمثال جورج ريمان (1) Riemann دراسة منظمة للفضائيات ذات البعد الأعلى نظرا لأهميتها الحقيقية. ومع ذلك، كانت المشكلة الرئيسية التي تواجههم هي وضع تعريف مقنع للبعدية . وكان ذلك مهماً بصورة واضحة، علما بأن الرياضيين رغبوا في إثبات نظريات دقيقة جدا عن خصائص الفضائيات ذات الأبعاد المختلفة .

وبشكل بديهي ، فنحن نقسم التركيبات الهندسية إلى بعد أو اثنين أو ثلاثة أبعاد وفقا لطبيعة امتدادها. وهكذا، فالنقطة بما أن ليس لها امتداد ، فبعدها صفر. والخط له بعد واحد، وللسطح بعدان، وللحجم ثلاثة أبعاد . ويجدر بنا أن نعدد مرة أخرى التعريفات التي وضعها إقليدس نفسه منذ حوالي 300 قبل الميلاد . :

" النقطة point هي التي ليس لها طرف .

والخط Line هو طول بلا عرض.

والسطح surface هو طول وعرض فقط.

والمجسم solid هو طول وعرض وسمك ."

(1) جورج ريمان (1826 – 1866): عالم رياضي ألماني. وضع نوعا من الهندسة اللاإقليدية.

ومضى إقليدس فى الإشارة إلى أن أطراف الخط هى نقاط، وحـــدود السطح هى الخط ، وحدود المجسم هى سطح . وأدى هذا إلى فكرة تحديد البعدية بشكل هرمى، بدءا بالصفر للنقطة ، وبعد ذلك ينمو واحدا بعد الآخر . وهكذا، فالشىء ذى البعد الواحد، هو ذلك الشىء الذى له نقاط كأطراف ،أى، الخط. وبذلك نصل بالاستنتاج إلى تعريف البنية ذات الأبعاد الأربعة ، لأن ذلك هو الحجم المحاط بثلاثة أبعاد . ولا توجد حدود لعدد الأبعاد التى يمكن أن تحدد منطقيا بهذه الطريقة ، على الرغم من أن الطريقة لا تقول شيئا عن الموقف الفيزيائى الحقيقى .

ويمكن التوصل إلى فهم دقيق من خلال تصور مخطط لتسمية النقاط فى الفضاء. افترض ، على سبيل المثال، أنك ترغب فى مقابلة صديق عند نقطة سبق تحديدها، فستكون إحدى الطرق ، هى إعطاء خط طول وخط عرض ؛ وربما تختار الإحداثيات لمبنى الإمباير ستيت فى نيويورك ، على سبيل المثال . ولا يزال هناك حرية لتحديد الارتفاع . أى الطوابق التى ستكون فيها ؟ وفى الإجمال ، هناك ثلاثة أرقام مستقلة تحتاجها لتحديد نقطة فى الفضاء بشكل فريد . ولهذا السبب يقال أن الفضاء ثلاثى الأبعاد .

كشفت نظرية النسبية عن مدى تشابك الفضاء مع الزمن ، وينبغى ألا نفكر فى الفضاء وحده بل فى الفضاء بالزمن . ما هو اليوم الذى ستقابل فيه صديقك فى مبنى الإمباير ستيت؟ ويتطلب تحديد توقيت ما رقما واحدا -التاريخ- وعلى ذلك ، فالزمن له بعداً واحداً. وبوضع الفضاء والزمن معا ، نصل حينئذ إلى فضاء- زمن ذى أربعة أبعاد .

وعندما نحاول تخيل أبعادا أخرى ، ولنقل بعد فضائى رابع، بأن نجعل مجموع أبعاد الفضاء - الزمن خمسة أبعاد، لا تسعفنا البديهة. وإحدى الطرق للحصول على مساعدة أن نلجأ للتشبيه: تخيل مخلوقاً ثنائى الأبعاد، قضى عليه أن يمضى حياته للأبد مرتبطا بسطح. فهو لا يدرك مفهوم "أعلى أو "أسفل". يصور شكل 23 هـذا العالم المسطح . ويمكننا أن ندرك أن السطح ، مغلفا فى فضاء ثلاثى الأبعاد، ولكن هذا المخلوق ليست لديه نفس المنظور الذى لدينا فهو لا يدرك إلا الأحداث التى تقع على السطح .

ويمكننا أن نسأل ماذا يرى المخلوق عندما يخترق السطح شيء ثلاثي أبعاد . وينخرط السطح في صورة قطاع من الشيء ، قطاع يتغير بشكل عام حجمه وشكله كلما مر الشيء خلاله. والكرة، على سبيل المثال ، سوف تبدو في البداية على أنها نقطة، والتي تنتفخ بعد ذلك إلى قرص، وتصل إلى أقصى نصف قطر، ومن ثم تتكمش حتى تصبح نقطة مرة أخرى . وتعطى المزيد من الأشياء الأكثر تعقيدا أشكالا أكثر تعقيدا .

وإذا أمعنا في التشبيه، فقد نفترض أن الأبعاد الأربعة للفضاء- الزمن تنطوي في كون ذي خمسة أبعاد (أو حتى أكثر) ،لا يمكننا تخيل هندسته، ولكن رغما عن ذلك فإن له وصف منطقي صحيح من خلال الرياضيات . وبالفعل، طور الرياضيون منذ فترة طويلة قوانين هندسية للفضاء بأي عدد من الأبعاد (بما فيها اللانهاية) . وعلى ذلك فمن الممكن فهم فضاء ذي أبعاد أكثر ، مع أننا لا يمكن أن ندرك إلا ثلاثة أبعاد فقط .

ما نوع السمات الموجودة في فضاء ذي أربعة أبعاد؟ ويختص أحد أوجه الأبعاد بعدد الاتجاهات المتعامدة على التبادل التي يمكن إيجادها. فسطح هذه الصفحة، على سبيل المثال، سطح ثنائي الأبعاد . ضعه مفرودا على مائدة ، فحدود الصفحة تحدد عند أحد الأركان خطان متعامدان. ومن المستحيل رسم خط ثالث من هذا الركن إلى أي مكان عبر الصفحة يكون عموديا على الحدين. ومع ذلك يمكن إيجاد مثل هذا الاتجاه ،إذا أردنا الذهاب خارج مستوى الصفحة ورسمنا خطا رأسيا. وهكذا، ففي الفضاء ذي الثلاثة أبعاد، في مقابل السطح ذي البعدين للصفحة، هناك ثلاثة اتجاهات متعامدة بالتبادل .

وفي فضاء ذا أربعة أبعاد، يكون من الممكن إيجاد أربعة اتجاهات متعامدة على التبادل . ويوضح شكل 24 موقف الثلاثة أبعاد، بخطوط ثلاثة متعامدة على التبادل تصنع أكبر عدد ممكن. ومهما حاولنا ، فلا يمكن أن نجد خطا متعامدا على هذه الخطوط الثلاثة داخل حدود الفضاء العادي . وأي خط عمودي على الخطوط الثلاثة يجب أن يتقدم في اتجاه لا يقع داخل فضائنا على الإطلاق. وعلى الرغم من عدم إمكاننا تخيل أين يمضي هذا الخط ، فمن الواضح أن خط كهذا يمكن أن يوجد منطقيا. ويمكن وصفه. فخصائصه الهندسية يمكن تقييمها وتصنيفها .

ومثال بسيط لخاصية كهذه تقدمها نظرية تعلمها جميع تلاميذ المدارس الثانوية من الهندسي اليوناني فيثاغورث، وتتعلق بنظرية المثلثات قائمة الزوايا. ففي شكل ٢٥، نجد أن أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية هي: A و B و X. وبالرموز، تنص نظرية فيثاغورث على أن $X^2= A^2+ B^2$. وإذا وضعناها في صورة أرقام بحيث كان A=3 و B=4، فإن X=5 .

والمثلث المبين بشكل 25 ، هو سطح ثنائي الأبعاد، لكننا نستطيع أن نعمم نظرية فيثاغورث على ثلاثة أبعاد بسهولة. يصور شكل 26 صندوق مستطيل، أطوال أضلاعه هي: A، و B، و C . وتشير النظرية الآن إلى المسافة القطرية بين الركنين المتقابلين للصندوق ،التي رمز لها بـ X في الشكل. وبالرموز، تنص نظرية فيثاغورث على أن $X^2= A^2+ B^2+ C^2$. ويشبه شكل هذه المعادلة الحالة ثنائية البعد المعطاة سابقا، لكننا نحتاج الآن إلى أطوال الثلاثة أضلاع المتعامدة على التبادل لحساب طول الوتر X .

وفي فضاء رباعي الأبعاد، يحسب طول خط الزاوية القطرى المنحرف من أربعة أطوال متعامدة، ولنقل ،A، و B، وC، و D. ويجب أن تكون لدينا حينئذ العلاقة $X^2= A^2+ B^2+ C^2+ D^2$. ولذا ،فعلى الرغم من أنه لا يمكننا تصور صندوق رباعي الأبعاد، فلا يزال يمكننا دراسة تفاصيل خصائصه الهندسية .

وعلى الرغم من أهمية هذه الأفكار الهندسية، فقد يظهر أنها كبيت العنكبوت ، فقد أنهار البيت عندما بدأت حقبة الرياضيات الحديثة نحو نهاية القرن التاسع عشر تطور فرعا قويا من الرياضيات يعرف بنظرية بدء المطاوعة set theory . ومن بين الصدمات التي عاني منها الرياضيون اكتشاف جورج كانتور Georg Cantor(2) وجود نقاط عديدة في خط مثلما توجد نقاط عديدة في سطح. والفكرة البديهية بأن سطحا يتوافر فيه ، بطريقة لانهائية العديد من النقاط ، أكثر من النقاط التي توجد على خط مرسوم على هذا السطح لهي فكرة مشكوك فيها تماما. وهذه المفاجأة المذهلة جعلت حتى الرياضيون المحترمون ميالون للشك. فالبعض منهم وصف كانتور بالجنون. وكتب تشارلس هيرمايت Charles Hermite بشكل رافض:" يبدو أن قراءة كتابات كانتور عذاب حقيقي... فالنظام ما بين خط ومسطح يجعلنا غير مهتمين تماما" ... تلك العشوائية ... كان من الأفضل للمؤلف أن ينتظر..." إلخ .

3- الأبعاد الثلاثة للكون المنظور :

مهما كانت حقيقة أبعاد الفضاء، فليس هناك مجالا للشك في أننا لا ندرك إلا ثلاثة أبعاد بصورة مباشرة. وتساءل العديد من العلماء إذا كان من الممكن أن نفهم لماذا اختارت الطبيعة ثلاثة أبعاد . هل هذا الرقم فريد بوجه من الوجوه ؟

في عام 1917، كتب الفيزيائي بول إيهرنفست Paul Ehrenfest بحثا بعنوان " بأية طريقة يظهر لنا في قوانين الفيزياء الأساسية أن للفضاء ثلاثة أبعاد؟ ". وركز إيرهنفست انتباهه علي وجود مدارات ثابتة ، من النوع الذي تتبعه الكواكب حول الشمس أو يتبعه الإليكترون حول نواة ذرية. والانتشار الواسع لقوانين التربيع العكسي للقوة معروف تماما في الفيزياء. في الفصل الخامس رأينا كيف تفي جميع القوى المغناطيسية والكهربية والجاذبية بشروط هذا القانون. وفي أوائل عام 1747 تعرف إيمانوئيل كانت Immanuel Kant على العلاقة العميقة بين هذا القانون والأبعاد الثلاثية للفضاء. ويمكن بسهولة تعميم المعادلات التي تصف مجالات الجاذبية أو الكهربية لنقطة على أبعاد أخرى وحلها. وتكشف الحلول عن أنه في فضاء ذو أبعاد ((N) ، يجب أن نتعامل مع قوة قانون معكوس .(N-1) وهكذا، في ثلاثة أبعاد N-1=2، والقانون هو التربيع العكسي .Inverse Square وفي الأربعة أبعاد (N-1=3) ، ولذا، نحصل على قانون التكعيب العكسي Inverse Cube . وهكذا. ومن السهل توضيح أنه إذا ، ولنقل ، ولدت الشمس مجال جاذبية تكعيب عكسي فسرعان ما تدور الكواكب في دوامة لولبية ويتم ابتلاعها في الشمس .

ويكون الموقف مع الذرات مشابها فحتى عند الأخذ في الاعتبار التأثيرات الكمية يبدو أنه ليس للإلكترونات مدرات ثابتة في فضاء له أكثر من ثلاثة أبعاد وبدون مدارات ذرية ثابتة تصبح الكيمياء ومن ثم الحياة مستحيلة .

وهناك ظاهرة أخرى تعتمد على البعدية بصورة أساسية، وهي انتشار الموجة. ومن السهل توضيح أنه في الفضاء ذي الأبعاد الزوجية لا تنتشر الموجة على نحو واضح، لكنها تترك ورائها اضطرابات تسبب تأثيرات ارتجاعية.

ولهــذا السبب فمن المستحيل نقل إشارات محددة تماما فى سطح ثنائى الأبعاد مثل قطعة من المطاط. وقد توصل الرياضى جى.جيه وايترو G.J.Whitrow الذى ناقش هذا الموضــوع عــام 1955، إلى أن الحياة المتقدمة ستصبح مستحيلة فى فضاء له أبعاد متساوية ، لأن الكائنات الحية تحتاج إلى التحول الفعال، وإلى معالجة المعلومات حتى تعمل بصورة متماسكة .

ولم تثبت هذه الدراسات أن الأبعاد الأخرى للفضاء مستحيلة، فقط أن الفيزياء فى عالم له أكثر من ثلاثة أبعاد سيكون عالما مختلفا تماما، وأقل تنظيما عن العالم الذى ندركه .

كيف يمكننا اختبار كل هذا فى نظرية كالوزا عن كون ذى أربعة أبعاد فضائية؟ إحدى الإمكانيات هى اعتبار البعد الإضافى غير المرئى على أنه وسيلة محضة، خدعة رياضية ليست لها أهمية فيزيائية. ومع ذلك، فالفكرة الأكثر قبولا قد اقترحت بعد أن نشر كالوزا نظريته الأصلية بفترة ليست بالبعيدة .

4 - مشكلة الأبعاد المختفية :

فى عام 1926، توصل الفيزيائى السويدى أوسكار كلاين Oscar Klein إلى إجابة بسيطة رائعة عن سؤال أين يوجد البعد الخامس لكالوزا. واقترح كالوزا أننا لا نلاحظ بعدا إضافيا لأنه، من بعض الوجوه، ينكمش إلى حجم صغير جدا. ويمكن مقارنة الموقف بخرطوم حريق؛ فعند النظر إليها من بعد يظهر الخرطوم فى صورة خط ملتو. وعند الفحص الدقيق، فإن ما نعتبره نقطة على خط يظهر أنه دائرة حول محيط الخرطوم (شكل 27) . اقترح كلاين، افترض أن كوننا يشبه هذا، فما نعتبره نقطة فى فضاء ثلاثى الأبعاد هو فى الحقيقة دائرة صغيرة جدا تلتف حول البعد الفضائى الرابع. وتنطلق من كل نقطة فى الفضاء دائرة صغيرة فى اتجاه ، إما أن يكون فوق أو تحت أو على أحد الجوانب، أو فى أى مكان آخر فى فضاء إدراكنا. والسبب الذى لا يجعلنا نلاحظ كل هذه الدوائر هو أن محيطها من الصغر بدرجة لا تصدق .

تطرح فكرة كلاين شيئا اعتدنا عليه؛ فجزء من المشكلة هو أننا لا نستطيع تخيل أين تدور هذه الحلقات كالدوامة . فالحلقات ليست داخل فضاء، فهى تجعل الفضاء

يتمدد ، تماما مثلما يحدد خط مهتز بشدة على شكل خرطوم . ويمكننا بسهولة تصور الموقف ببعدين ، وليس بثلاثة أبعاد. وعلى الرغم من ذلك ، فلا يزال الاقتراح معقولا. فلا توجد مشكلة فى مدارات ثابتة أو انتشار موجة أيضا، لأن المادة والموجات ليست لهما حرية الحركة بصورة غير مرتبطة بالبعد الإضافى . ولا يمكن أن يكون هناك بعد خامس، لكنه لا يوجد شىء يمكن أن يصبح بعيدا جدا بالمرور داخله. وبالطبع، لا توجد إمكانية لاستخدام نظرية كالوزا – كلاين لاختصار رحلة الفضاء.

كان فى استطاعة كلاين حساب محيط الحلقات حول البعد الخامس من القيم المعروفة لوحدة الشحنة الكهربية التى تحملها الإليكترونات والجسيمات الأخرى، وشدة قوى الجاذبية بين الجسيمات . وظهر أن القيم هى 10^{-32} سم أو حوالى 10^{-20}. قطر نواة ذرية. وليس من المثير للدهشة ألا نلاحظ البعد الخامس، حتى فى فيزياء الجسيمات دون النووية . ومن الواضح أنه ليس هناك مجال للسؤال ،ولنقل،عن ذرة تسلك طريق حول البعد الخامس . الأفضل، يجب أن نعتبر البعد الإضافى على أنه داخل الذرة .

وعلى الرغم من براعة نظرية كالوزا-كلاين ، إلا أنها ظلت لا تعدو أن تكون فضول رياضى قرابة خمسين عاما. ومع اكتشاف القوى الضعيفة والشديدة فى الثلاثينات ، فقدت فكرة توحيد الجاذبية والكهرومغناطيسية الكثير من جاذبيتها، وأية نظرية مجال موحد ناجحة كان عليها أن توفق ليس اثنين بل أربعة قوى. ومع ذلك ، لا يمكن إنجاز هذه الخطوة، لهذا السبب ، إلى أن يتم التوصل إلى فهم صحيح للقوى الضعيفة والشديدة . وفى أواخر السبعينات، والنظريات الموحدة الكبرى وفرط الجاذبية ماثلة فى أذهان الباحثين ، تذكر البعض نظرية كالوزا – كلين. وسرعان ما تحركت من مكانها الأمين، ونفض عنها الغبار، وأعيد صياغتها حتى تتكيف مع المدى الممتد للقوى المعروفة آنذاك .

وكما فى النسخة الأصلية للنظرية، تتكيف القوى عن طريق تطعيم المزيد من أبعاد الفضاء فى فضاء – زمن معروف، ولكن حقيقة أن لدينا حاليا ثلاث قوى تتكيف، تتطلب العديد من الأبعاد الإضافية. وحساب بسيط لعدد عمليات التماثل المشتملة فى القوة الموحدة الكبرى يؤدى إلى نظرية يجب أن يوجد بها سبعة أبعاد إضافية ، إذ تنشأ فى مجموعها عشرة أبعاد للفضاء، بالإضافة إلى الزمن، أو أحد عشر بعدا للفضاء – زمن . ويفترض التعديل الأخير لنظرية كالوزا–كلاين أحد عشر بعدا للكون .

ومرة أخرى، من الضرورى افتراض أن الأبعاد السبعة الإضافية هى بصورة ما "متكورة" بصورة صغيرة جدا ، لدرجة أننا لا نلاحظها . وهناك طريقة واحدة فقط لتجميع بعدا واحدا إضافيا، ويكون ذلك فى دائرة . ومع ذلك، يمكن دمج الأبعاد الفضائية الأعلى بطرق عديدة مختلفة . وعلى سبيل المثال، يمكن وصل سطح ذى بعدان لتكوين إما سطح كرة أو كعكة . وعلى الرغم من أن كلا الجسمان مغلقان، ويمكن جعلهما صغيران جدا، إلا أنهما يختلفان بدرجة كبيرة فى تركيبهما البنيوى؛ فالكعكة لها فتحة بداخله .

وعندما يتعلق الأمر بسبعة أبعاد يكون مدى التركيبات البنوية هائلا ، ولكن أى شكل من الأشكال هو الصحيح ؟ أحد الاختيارات الجذابة على وجه الخصوص ،هو تشبيه السبعة أبعاد للكرة المعروفة ببساطة بالكرة السباعية. فإذا كان للأبعاد الفضائية غير المرئية هذا الشكل فيعنى ذلك أن كل نقطة فى فضاء ثلاثى الأبعاد هى فى الحقيقة "كرة صغيرة جدا مفرطة" سباعية الأبعاد . ولفتت الكرة السباعية انتباه الرياضيون طوال نصف قرن مضى، حيث تتسم ببعض السمات الفريدة التى تضفى عليها خصائص هندسية كثيرة . ولا تعنينا التفاصيل هنا، لكن إذا اضطرت الطبيعة إلى إيجاد تركيب هندسى مقفل يسمح بأى شىء مثل القوى والمجالات الأساسية التى ندركها فى العالم الحقيقى ، حينئذ ستكون الكرة السباعية هى الاختيار الأبسط . لا يمكنك الحصول على نوع التركيبات التى نراها بدءا من الذرات وحتى المجرات من بعض الترتيبات الرياضية الأبسط .

يعد الجسم الكروى شكل مفرط فى التماثل، ويحتوى الجسم الكروى السباعى على تماثلات أخرى عديدة لا توجد فى أية كرة عادية. والغرض من هذه التماثلات وضع نموذج التماثلات القياسية الأساسية لمجالات القوى. ومع ذلك، فأحد الأسباب التى تطلبت وقت طويل من الفيزيائيين للتحقق من القوى، هو أن التماثلات تكون أحيانا مختفية أو منقطعة على نحو ما ذكر فى الفصل الثامن. وفى نظرية كالوزا-كلاين، يمكن الحصول على انقطاع التماثل هذا عن طريق تشويه شكل التركيب السباعى الأبعاد إلى حد ما بعيْدا عن الكروية الصحيحة. ويدخل الجسم الكروى السباعى المنسحق هكذا مثل معظم الأشكال المفضلة للأبعاد الإضافية المترابطة وغير المرئية .

وثبت أن نظرية كالوزا - كلاين التى نفض عنها الغبار أنها نظرية باعثة على الأمل حتى أن الفيزيائيين اندفعوا نحو صياغة قوانين الفيزياء بأحد عشر بعدا. وإحدى المشاكل التى ظهرت هى فهم سبب وجوب اتخاذ الفضاء بالزمن أربعة انشقاقات سباعية. هل من المحتم أن سبعة من أحد عشر بعدا يجب أن تتكور إلى شيء لا يرى، تاركة خلفها الأبعاد الأربعة لخبرتنا المباشرة، أو هل يوجد تشكيل آخر ممكن، ولنقل، ثلاثة ثمانيات ؟

وفى بحثهم عن سبب وجوب تجمع سبعة أبعاد تلقائيا بنفسها، كان الباحثون يعملون على افتراض أن النظم الفيزيائية تميل دائما نحو البحث عن حالة الطاقة المنخفضة . وقد قابلنا مثال جيد لهذا المبدأ فى الفصل الثامن فى مثال الكرة الموجودة على سطح "القبعة المكسيكية"، حيث تجد الكرة فى النهاية حالة ثابتة من الطاقة المنخفضة فى "حافة القبعة". وهذا يوحى بأن الجسم الكروى السباعى المنكمش المنسحق بوجه من الوجوه هو الشكل العام من الطاقة المنخفضة للفضاء - الزمن .

وبصورة بديلة، فمن المتصور أن الشكل العام للجسم الكروى السباعى هو واحد فقط من عدة ترتيبات ممكنة . ومن المغرى أن نفترض أنه بعيدا فى الكون، وراء حدود كوننا المرئى، يوجد للفضاء عدد مختلف من الأبعاد. وربما إذا أمكننا الانتقال آلاف الملايين من السنوات الضوئية، يجب أن نجد أنفسنا فجأة فى كون ذى خمسة أبعاد فضائية بدلا من ثلاثة. وإن كان كذلك، فربما نجد إجابة عن السؤال، لماذا ثلاثة؟ فمن الممكن أن يكون الفضاء-الزمن ذى الأحد عشر بعدا ينظم نفسه فى مناطق ذات أبعاد ظاهرية. ولما كان تركيب مجالات القوى يتوقف على التماثلات الهندسية للأبعاد المتجمعة، فسوف تختلف هذه القوى من منطقة لأخرى. بالإضافة إلى هذه الاختلافات سيكون هناك العديد من المشكلات بالنسبة للمدارات الثابتة وحركة الموجة، إلخ. التى ناقشناها من قبل. وسوف يؤكد كل هذا على أن الظروف الفيزيائية فى المناطق التى لا تتمتع بأربعة انشطارات سباعية سوف تتباين بصورة فجة عن تلك الظروف الموجودة فى كوننا. ومن المشكوك فيه أن تنشأ حياة ، أو حتى توجد على الإطلاق فى تلك المناطق الأخرى. فالكائنات الحية رقيقة للغاية، ويبدو أنها تعتمد بدرجة كبيرة على مزيج القوى الموفق بشكل فريد الموجود فى منطقتنا الكونية. وهذا يوحى بأننا

كراصدين قد اخترنا بوجودنا ذاته منطقة فضاء-زمن ذات ثلاثة أبعاد فضائية يمكن إدراكها. فنحن ببساطة لا نستطيع العيش فى أى واحدة من المناطق الأخرى المختلفة الأبعاد التى يحتمل وجودها.

5 - ضرورة وجود أبعاد كثيرة :

إن استخدام منطق الاستدلال "الأنثروبى أو الإنسانى " anthropic resoning كما يطلق عليه لتفسير سبب ظهور الفضاء لنا ثلاثى الأبعاد، قد أثار سؤالا آخر باعث على الاهتمام . هل من المحتم أن يكون العدد الكلى للفضاء بالزمن أحد عشر بعداً ، أو أن هذا العدد قد يختلف من مكان لآخر؟ ومن الممكن أن يتصور المرء، ولنقل ، كونا ذا واحد وعشرون بعدا يتكور فيه سبعة عشر بعدا فى تركيب محكم، يضفى على العالم أنماط مجالات قوى معقدة أكثر بكثير من الأربعة أبعاد التى ندركها. من يدرى ما شكل التركيبات المعقدة، وأشكال الحياة التى قد تنشأ فى كون كهذا ؟

وطوال التاريخ فتن الرجال والنساء بعلم التكهن بالأعدادnumerology، حيث أضفى اليونانيين القدامى على أعداد معينة أهمية سحرية وميتافيزيقية. وحتى هذا اليوم، يحتفظ الرقم أربعة-عدد الأضلاع الأربعة للمربع - بأثر من ارتباطات قديمة تدل على الصدق والنزاهة فى التعبير"المعاملة المنصفة". ولا يزال لدى العديد من الناس أرقام "سعد" أو "نحس"، مثل ثلاثة أو سبعة ، أو ثلاثة عشر. وكرر الكتاب المقدس استخدام الرقم سبعة والرقم أربعون أكثر من مرة . ولا يزال الناس يربطون الرقم 666 بالشر.

وعندما توجد الأرقام بصورة طبيعة فى العالم، فإنها تغرى بالبحث عن معنى ورائها. وأحيانا تبدو أنها من محض الصدفة تماما، مثل عدد الكواكب فى المجموعة الشمسية. وتوحى الأعداد الأخرى الموجودة بصورة طبيعية بدلالة عميقة، فقد تبين أن عدد الهادرونات المتواجدة فعلا ، كان نتيجة لعدد التكوينات التى يمكن أن تشكلها مجموعات الكواركات. هل الأبعاد فى الفضاء-الزمن مجرد صدفة مثل عدد الكواكب؟ أم أنها مؤشر لحقيقة عميقة فى التركيب المنطقى والرياضى للعالم المادى ؟

وهناك دلالة غريبة على أن للعدد أحد عشر دلالة رياضية عميقة، وتأتى من فرع من الفيزياء ، له علاقة بنظرية كالوزا-كلاين، ألا وهو فرط الجاذبية .Supergravity

فى الفصل السابق، الصياغة الأكثر تفاؤلا لفرط الجاذبية، المعروفة بـ . N=8 وتحتاج التسمية الخفية "" N=8 إلى بعض التفسير. تربط عملية فرط التماثل جسيمات ببعضها ذات لف مختلف فى عائلة أكبر تتكون من 163 جسيماً. وقد يثار تساؤل لماذا يوجد 163 فقط فى العائلة الأكبر Superfamily. فإذا تحولت عملية فرط التماثل من جسيم ذى قيمة لف واحد إلى جسيم بقيمة لف أخرى ، لماذا لا تستمر فى التحول للأبد وتولد سلسلة لانهائية من الجسيمات ذات لف أكبر بصورة عشوائية . والإجابة هى أنه، لكى يعمل فرط التماثل بصورة صحيحة كالتماثل، يجب أن يتضمن سلسلة "مغلقة " من العمليات. فيمكنه أن يولد عائلة محدودة فقط من الجسيمات. وكما أن هناك أسباباً رياضية وجيهة عن عدم وجود جسيمات ذات لف أكبر من 2 ، فإن العائلة الأكبر ذات 163 عضوا هى العائلة التى يمكن النظر فى أمرها .

وتشير التسمية N=8 إلى عدد الخطوات التى تربط الجسيمات ذات اللف المختلف عبر السلسلة الكاملة من اللفات المتاحة فى ظل عملية فرط التماثل. ولما كان اللف يمكنه أن يحدد كلا من "أعلى " و"أسفل"، فإن إسقاطه يمكن أن يتغير من 2 +(جسيم ذا لف 2- مشيرا لأعلى) إلى2- (جسيم ذا لف 2- مشيرا لأسفل) بخطوات نصف عدد صحيح. وهناك ثمانية خطوات كهذه بين −2 و+2، ومن ثم فهناك ثمانية عمليات فرط تماثل مطلوبة لتوليد كل عروض اللف المطلوبة لبناء عائلة أكبر من الجسيمات. ويتضح أيضا أن هذا العدد يرتبط بعدد أنواع الجرافيتيونات، أى ثمانية أنواع فى هذه النظرية .

وكما يشرح عادة، يشير مفهوم اللف إلى الخصائص الدورانية لجسيم فى فضاء ثلاثى الأبعاد . ومع ذلك، فمنذ عدة سنوات اهتم الرياضيون بابتكار أوصاف لف فى فضاء له أبعاد أخرى لمجرد فهم كيف تبدو الأشياء. وقد حدث أن ، بقدر ما كان فرط الجاذبية مأخوذا فى الاعتبار، ظهر أن النظرية أبسط كثيرا إذا كان هناك أكثر من ثلاثة أبعاد متاحة. وفى الواقع، فإن أبسط الأوصاف جميعا هو صياغة النظرية بأحد عشر بعدا. وفى الأحد عشر بعدا، تنهار عمليات التماثل المستقلة الثمانية لـ N=8فرط جاذبية إلى عملية تماثل واحدة فقط- ونحصل على " N = ١" فرط جاذبية .

تخيل أن رياضيا متحمسا لا دراية له بأبعاد الكون الحقيقى، ولكن بناء على أساس من الأناقة والوحدة اكتشف فرط الجاذبية . فسوف يكون منجذبا نحو صياغة

نظرية للفضاء-الزمن ذات أحد عشر بعدا ، ويستنتج أنه إذا كانت الطبيعة تعرف ما كانت تقدم عليه ،فسوف يكون أحد عشر بعدا هى أبعاد الكون الحقيقى. هل هذا الاتفاق للرقم أحد عشر مجرد صدفة،أم أنه يشير إلى علاقة وثيقة بين فرط الجاذبية ونظرية كالوزا-كلاين ؟ ويأمل العديد من الفيزيائيين فى أن يجدوا هذه العلاقة بشكل حقيقى، وأن يقترن فرعى الفيزياء الموحدة-فرط الجاذبية والنظريات الموحدة الكبرى - بوصف مشترك. وكتب الدكتور الباكستانى محمد عبد السلام الكلمات التالية :

" إن كانت هذه النظرية صحيحة، فربما نصبح قريبين جدا من توحيد كامل ونهائى لكل القوى مع المادة الدوارة . مع الشحنات الأساسية التى تشكل مظهر الأبعاد المختفية فى الفضاء ."

6 - التعبير عن الطبيعة بأشكال هندسية :

قد رأينا كيف أن حلم آينشتاين بنظرية مجال موحد مبنى على أساس هندسى قد اقترب من التحقق. وفى النظرية الحديثة لكالوزا-كلاين تعامل كل قوى الطبيعة، وليست الجاذبية فقط ، على أنها مظاهر من تركيب فضاء-زمن . وما نسميه عادة جاذبية هو التواء من أربعة أبعاد للفضاء - الزمن فى إدراكاتنا ، بينما تختصر القوى الأخرى إلى التواءات فضائية ذات أبعاد أعلى. وتنكشف جميع قوى الطبيعة إلى لا شىء أكثر من هندسة مختفية تعمل .

فى عام 1870، ألقى الرياضى و.ك.كليفورد W.K.Clifford محاضرة على مجمع كامبريدج الفلسفى المهيب عن "نظرية المادة الفضائية"، وأعلن كليفورد :

"هذه الأجزاء الصغيرة من الفضاء تماثل تلالا على السطح، الذى يعتبر فى المتوسط مسطحا... وإن هذه الخاصية لكونه منحنى أو مشوه هو كونه يمر على الدوام من جزء إلى جزء آخر فى الفضاء على هيئة موجة. وأن هذا التغير فى تكور الفضاء هو ما يحدث بالفعل فى تلك الظاهرة التى نطلق عليها حركة المادة motion of matter لاشىء آخر فى العالم المادى يحدث سوى هذا التغير ."

تعد هذه الأفكار أفكار تعد تنبؤية بدرجة ملحوظة للنظرية العامة للنسبية، التى طورها آينشتاين بعد قرابة نصف قرن. ومع ذلك، يبدو أن كليفورد قد ذهب إلى ما بعد

النسبية العامة، وافترض أنه، بالإضافة إلى القوى، لا تعدو أن تكون جسيمات المادة ذاتها سوى نتوءات فى فضاء فارغ .

وهناك حاجة قوية للاعتقاد بفكرة أن الكون بأكمله بما فيه كل المادة الملموسة بشكل ظاهرى التى تهاجم حواسنا بعنف، هو فى الحقيقة مجرد زيف أو لهو ملتو أو منحنى للعدم أو اللا شىء ، وسيتضح فى النهاية أن العالم عبارة عن نحت لخواء محض، خواء منتظم تنظيما ذاتيا. كانت الهندسة هى المولدة للعلم. وأدت فى النهاية إلى العمل المتسم بالمثابرة لأجيال الفلكيين الذين رسموا مسارات الأجرام السماوية فى السماء إلى أفكار نيوتن ، وتفسير النماذج السماوية على أساس القوى والمجالات. وقد وصلنا فى الوقت الحاضر إلى نفس الموقف ، وأن القوى والمجالات تفسر بنفسها من خلال الهندسة .

وفى أوائل الستينيات، طور الفيزيائى النظرى الأمريكى جون ويلرJohn Wheeler أعمال كليفورد وأينشتاين، وحاول وضع نظرية كاملة عن العالم تتأسس على هندسة الفضاء – الزمن الفارغ فقط. وقد أطلق على هذا البرنامج "الديناميكا الهندسية" .geometrodynamics وكان له كما أراد تفسيرا لكل الجسيمات والقوى من خلال التركيبات الهندسية .

ويقدم نموذج ويلر Wheeler's model عن الشحنة الكهربية تفسيرا وافيا للفلسفة العامة من وراء المشروع. وقد فكر فى أن الجسيم المشحون هو فى الحقيقة نوع من المداخل أو البوابات لنفق صغير يوصل ما بين نقطة وأخرى فى الفضاء ، أكثر شبهها بمعبر فضائى مصغر خلال بعد آخر. وسوف تظهر لنا النهاية البعيدة من النفق وكأنها جسيم آخر ذا شحنة كهربية مخالفة. وهكذا ، فإن طرفى "الثقب الدودى لويلر" wheeler-wormholeيمكن أن يكونا زوج إليكترون–بوزيترون، على سبيل المثال. فى حين قال فيزيائيو القرن التاسع عشر أن "خطوط القوى"الكهربية تتركز وتنتهى على جسيم مشحون، اقترح ويلر أن الخطوط تتركز ببساطة على طوله لتخرج سليمة من الطرف الآخر(انظر شكل 28). وبهذه الطريقة ليست هناك حاجة على الإطلاق إلى المصادر الكهربية، فقط ثقوب فى الفضاء، تحتجز بداخلها مجالات كهربائية .

وللديناميكا الهندسية Geometrodynamics العديد من هذه السمات المبهجة، لكنها لم تكن أبدا نجاحا كاملا. وكتب ويلر : أن" معظم العيوب الواضحة... هى أنها

تفشل فى إعطاء أى مكان طبيعى بصورة كاملة بلف $^{1}/2$ بوجه عام، والنيوترينو بوجه خاص". وفى السنوات الأخيرة، تبنى وضع أن أية نظرية تفترض مسبقا فضاء – زمن ، لا يمكنها أيضا أن تفسر الفضاء – الزمن. وعلى وجه الخصوص، فإن أبعاد الفضاء–الزمن مبنية فى النظرية على إطلاقها، ولذا لا يمكنها أن تخرج كنتيجة للنظرية. وأية نظرية كاملة عن الطبيعة يجب أن تبرر سبب وجود "المادة الخام"– الفضاء – الزمن ذاته – الذى بنى منه العالم الديناميكى الهندسى. ويعتقد ويلر أن هذا لا يتأتى إلا من دراسة فيزياء الكم، والتطلع إلى الزمن الذى ندرك فيه كيف يكون الكم فضلا عن الفضاء – الزمن ، وحدة البناء الأساسية للحقيقة.

وبالاستفادة من الإدراك الأخير، يمكننا أن نرى أن فشل الديناميكا الهندسية لويلر كان إلى حد ما بسبب تقيده بأربعة أبعاد. ومن خلال المدى الكامل للأحد عشر بعدا المتاح، سيزداد بدرجة كبيرة تنوع وتعقد التركيبات الفيزيائية التى يمكن بنائها . وفى نظرية كالوزا–كلاين ، لا تعامل الجسيمات على أنها "ثقوب دودية" فى الفضاء، بل كأشياء مثيرة داخل هندسة ذات أحد عشر بعدا. وينعقد الأمل حاليا فى أن تفسر هذه الهندسة نفسها ، كما كان يرغب ويلر،على أساس الظاهرة الكمية .

7- الكشف عن الأبعاد الخفية :

قد تكون الطبيعة جميلة، غير أن الجمال وحده لا يقنع الفيزيائيون بصحة نظرية ، فالدلالة المادية القوية مطلوبة أيضا. وتلزمنا قوة وأناقة نظرية كالوزا–كلاين ذات الأحد عشر بعدا بأن نأخذها بجدية، ولكن إن لم تكن هناك وسيلة مقنعة للتحقق من أن السبعة أبعاد الإضافية للفضاء موجودة بشكل حقيقى فسوف تفقد النظرية الكثير من روعتها.

بيد أنه لحسن الحظ، قد يكون من الممكن توضيح وجود الأبعاد الأخرى فيزيائيا. ولكى تنجح النظرية، يجب أن يتجمع السبعة أبعاد الإضافية للفضاء، ربما فى صورة جسم كروى سباعى بمحيط 10^{-32} سم، وللكشف عن تركيبات بهذا الحجم الفوق ميكروسكوبى يواجهنا تحد كبير: لا نستطيع أن نتحكم بشكل مباشر فى أشياء بهذا الصغر، ولذا لا يمكن أن نرسل شيئا ما ليستكشف الجسم الكروى السباعى.

وتربط فيزياء الكم مقياس الطاقة(الكتلة بصورة مكافئة) بمقياس الطول. والشيء بالشيء يذكر فإن قطر نواة يناظر(حوالى 10^{-12} سم) تقريبا كتلة البايون. وكلما كشف عن أطوال أصغر، تبدأ الطاقات المتضمنة فى الظهور . وللكشف عما بداخل بروتون مملوء بكواركات ، من الضرورى الصعود إلى طاقات أعلى عشر مرات من كتلة البروتون. وإذا توغلنا أكثر فى مقياس الطاقة نجد كتلة التوحيد عند حوالى 10^{14} كتلة بروتونية. وإذا كان لأحد أن يتحكم فى هذه الطاقة الكتلية الهائلة، فسوف يصبح من الممكن سبر أغوار عالم جسيمات X ، التى يتضاءل عندها التمييز بين الكواركات والليبتونات.

ما مقدار الطاقة التى نحتاجها "للدخول" إلى جسم كروى سباعى ، والكشف عن أبعاد الفضاء الأخرى ؟ ووفقا لنظرية كالوزا-كلاين، من الضرورى أن نصل إلى ما بعد مقياس التوحيد إلى طاقة تكافئ 10^{19} كتلة بروتونية. وعند هذه الطاقة التى يصعب تخيلها، تظهر الأبعاد الإضافية بوضوح وبصورة مباشرة.

وتعرف القيمة الضخمة 10^{19} كتلة بروتونية بمقياس بلانك Planck scale،لأن الذى اكتشفها فى الأصل هو ماكس بلانك Max Planck ، مبتكر نظرية الكم. وفى طاقة بلانك ، تندمج كل قوى الطبيعة الأربع فى قوة عظمى واحدة، وتوجد كل الأبعاد العشرة للفضاء على قدم المساواة. وإذا أمكننا تركيز قدر كاف من الطاقة لتأخذنا إلى مقياس بلانك ، فسوف تتكشف الأبعاد الكاملة للفضاء بكل روعتها .

وإذا أطلقنا العنان للخيال ، فيمكننا أن نتصور البشرية فى يوم ما وقد تفهمت عمل القوة العظمى . لأن القوة العظمى هى المسئولة فى النهاية عن توليد جميع القوى والتركيبات الفيزيائية. فهى المصدر الرئيسى لكل الوجود . كما أنها يمكنها تغيير تركيب الفضاء-الزمن ، ويستطيع معجل ستانفورد الخطى، الذى يصل طوله ثلاثة كيلومترات أن يعجل الإليكترونات حتى طاقة تكافئ حوالى عشرون كتلة بروتونية. وللحصول على طاقة بلانك Planck energy سنحتاج إلى معجل أطول بحوالى 10^{18} مرة ، حتى يكون بطول مجرة درب التبانة – التى يبلغ قطرها 100000 سنة ضوئية .

وفى نظرية القـــوى الموحـدة ، يمكننا أن نميز ثلاثة بدايات هامـة ، أو مـقـاييس طاقة . أولا، هناك طاقة وينبرج – سلام ، عند حوالى تسعون كتلة بروتونية ، تندمج بعدها القوى الكهرومغناطيسية والقوى الضعيفة فى قوة كهروضعيفة واحدة. والثانى ، هو طاقة التوحيد 10^{14} كتلة بروتونية ، تحدد بداية فيزياء النظريات الموحدة الكبرى. وفى النهاية ، هناك طاقة بلانك عند 10^{19} كتلة بروتونية، تمثل مقياس الطاقة الأقصى الذى تقترن فيه جميع الفيزياء فى بساطة عجيبة. ومن أحد المشاكل التى لم تحل هى تفسير هذه الكميات الثلاث من الطاقة ، وتقديم على وجه الخصوص لماذا تكون المسافة ما بين الأرقام الأولى والثانية مسافة كبيرة .

ويمكن أن تأخذنا التكنولوجيا الحالية إلى أول هذه البدايات. وكما رأينا فى الفصل السابق ، يمكن أن يقدم انحلال البروتون وسيلة غير مباشرة لسبر الفيزياء على مقياس التوحيد، لكنه من غير المحتمل على الإطلاق الحصول على طاقة توحيد بشكل مباشر، ناهيك عن طاقة بلانك .

هل يعنى هذا أننا لن نكون قادرين على رؤية القوة العظمى الخام العاملة وندرك السبعة أبعاد غير المرئية للفضاء؟ من المؤكد أن باستخدام التكنولوجيا نقترب بسرعة من نهاية مشوار الطاقة مع الديزرترون Desertron المقترح. وعلى الرغم من هذا، لم تستهلك التكنولوجيا البشرية المخزون الوافر من الظروف الفيزيائية. وهناك الطبيعة ذاتها . فالكون معمل طبيعى هائل، ومنذ ثمانية عشر ألف مليون سنة أجريت أكبر تجارب فيزياء الجسيم، والتى نطلق عليها الانفجار العظيم. وسوف نرى أن هذا العنف الأولى كان كافيا لإطلاق العنان للقوة العظمى، وإن تكن بصورة خاطفة، لكنه ربما تكون هناك فترة طويلة جدا لأن تترك أثرا دائما على وجودها السابق .

الفصل الحادى عشر

آثار منذ نشأة الكون

1- أصل العناصر فى الكون :

فى يوم ربيعى مشمس من عام 1822، كان الطبيب الريفى الشاب جيديون مانتيل Gideon Mantell يعاود مريضه بالقرب من بلدته يويس بمقاطعة سسكس بإنجلترا . وكان يرافق الدكتور مانتيل زوجته مارى آن Mary Ann فى سيارته ، التى انتهزت الفرصة لتتجول فى طريق ريفى ضيق أثناء عيادة زوجها لمريضه. وتصادف أن لاحظت السيدة مانتيل شيئا بنيا لامعا وغريبا فى كومة الأحجار ، التى تستخدم فى إصلاح الطريق. وعندما اقتربت منه اتضح أنه قطعة من الحجر الرملى تحتوى على عدة أسنان كبيرة جدا . وأحضرت السيدة مانتيل لزوجها الأسنان، وهو الجيولوجى الهاوى الذى استثاره المنظر جدا . كانت الأسنان بقايا من عظاية آكلة للأعشاب iguana lizard ، وخمن الدكتور مانتيل تخمينا جريئا بأن الأسنان التى وجدتها زوجته بالصدفة كانت تنتمى فى يوم ما إلى نوع من الزواحف الضخمة آكلة الأعشاب، التى سكنت الأرض قبل ظهور الثدييات. وقد أطلق على هذا الكائن اسم إيجواندون Iguanadon. لقد اكتشف مانتيل وزوجته وتعرفا بشكل صحيح على أول حفرية من الديناصورات .

وجاء كشف السيدة مانتيل الذى حدث بالصدفة فى إحدى فترات العلم العصيبة. ووفقا لما جرى عليه العرف، كان يعتقد أن عمر الأرض بضعة آلاف من السنين ، ذلك الاعتقاد الذى عززه حساب الكتاب المقدس لأصل الكون. ومع ذلك، فمع نهاية القرن الثامن عشر أصبحت الجيولوجيا موضوعا علميا بالمعنى الصحيح ، وبدأ معظم الجيولوجيون يدركون أن اكتمال نشاطاً جيولوجياً ، مثل الترسيب والتعرية كان يتطلب فترات زمنية هائلة . ومع ذلك، استمر هذا الاعتقاد حتى عام 1799، حين قدر الجيولوجى الفرنسى جورج لويس لكلريك George Louis Leclerc أن عمر الأرض لا يزيد عن 75000 سنة. وبحلول منتصف القرن التاسع عشر امتدت هذه الفترة الزمنية إلى مئات الملايين أو حتى آلاف الملايين من السنين. وحاليا يقدر عمر الأرض بواسطة النشاط الإشعاعى بأربعة آلاف وستمائة مليون سنة .

وسرعان ما تم التعرف على الأحافير Fossil الديناصورية الجديدة بأنها بقايا مخلوقات منقرضة ، هامت فى الأرض فى الفترة ما بين 200 و 65 مليون سنة مضت. إنه شىء رائع أن نستطيع من خلال فحص الصخور الحالية أن نستنتج شيئا عن العالم فى تلك الأحقاب الماضية السحيقة ، فمائتى مليون سنة تعد فترة زمنية ضخمة تفوق التصور الإنسانى. وكشفت الأبحاث التالية الأكثر اتقانا عن بقايا متحجرة لكائنات حية يرجع تاريخها لزمن لا يقل عن 3000 مليون سنة، وربما يصل إلى 4000 مليون سنة .

وعلى الرغم من أن معظم الناس يربطون بين الأحافير والآثار المتجمدة المطبوعة للمخلوقات التى عاشت فى يوم ما، إلا أن هناك العديد من الأشياء المادية الأخرى التى تكون مطبوعة بسجل خامد للماضى السحيق. وعلى سبيل المثال ، فالتجاويف التى تغطى سطح القمر، والمريخ ، وعطارد تشهد على مرحلة قذف عنيف منذ فجر المجموعة الشمسية . وبوجه من الوجوه، تعتبر جميع الأشياء المادية أحافير. وكل شىء موجود يحمل مسحة من التاريخ، ويقدم معلومات عن الظروف التى جاءت به إلى الوجود. والطريقة المثلى هى براعة الكشف عن هذه المعلومات .

وهناك حيلة طريفة، وهى أخذ الشىء الذى يعرفه الجميع وهو أجسامنا، ونستعلم عما يمكن أن يخبرنا به عن الماضى .

وبداية، هناك معلومات بيولوجية، وهذه المعلومات موجودة على هيئة رموز فى الجينات التى تكونت من جزيئات الـ DNA التى تتخذ شكلا متميزا . وتنشأ كل صور الحياة على وجه الأرض من الـDNA،الذى يمكن اعتباره لذلك السبب أثر لأصل الحياة على سطح الأرض، التى يصل عمرها نحو 4000 مليون سنة . ويحمل تركيبنا الوراثى آثارا تفوق الحصر للحالات الفيزيائية التى صادفها أجدادنا على مدى أزمنة سحيقة، وساعدت على تشكيل المسار التطورى الذى اتبعه الجنس البشرى . وهكذا ، فأجسامنا هى أحافير حية تتضمن تاريخ مشفر لكوكبنا .

وتعزى المعلومات البيولوجية إلى الطريقة التى ارتبطت بها ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين والعناصر الأخرى معا داخل الكائنات الحية فى صور معقدة . ولكن ماذا عن الذرات نفسها،تلك المادة الخام التى صنعت منها أجسامنا وجميع الأشياء الأخرى الموجودة حولنا ؟

ووفقا للأفكار الحديثة لعلم الكونيات cosmology، لم تكن هذه الذرات موجودة بشكل دائم لكنها بقايا لعمليات فيزيائية حدثت منذ فترة طويلة فى ما قبل تاريخ الأرض بعيدا فى أعماق الكون. إنها أحافير كونية. وكما رأينا فى الفصل الثانى،يعتبر الهيدروجين المكون الأولى للمادة الكونية، ويقدر الهليوم بـ 10 % من مجموع الذرات، ولا تمثل العناصر التسعون أو نحو ذلك الأخرى إلا جزءا ضئيلا جدا من المجموع. وتتكون معظم المادة الموجودة بداخلنا، إذن، من عناصر ضئيلة كونية مركزة بدرجة هائلة، ويجب البحث عن أصلها فى العمليات المعقدة التى تحدث داخل النجوم .

وعندما بدأ الكون ، لم تحتوى المادة الكونية فى الأساس على وسط أو نوى ثقيلة. فهذه العناصر هى رماد الاحتراق النووى الذى أبقى على النجوم. وفى نجم كالشمس فإن قلبها يعتبر مفاعلا نوويا اندماجيا ، يتكون وقوده أساسا من نوى الهيدروجين(البروتونات). وتؤجج حرارة الفرن الشمسى الشديدة البروتونات بعنف لدرجة أنه تحدث أحيانا مصادمات قريبة جدا، كما لو كانت البروتونات تطرد بعضها البعض بقوة كهربية قوية. وإذا ما جاءت البروتونات المتصادمة داخل نطاق القوة النووية الشديدة ، يكون الاندماج محتملا. ونواة تتكون من بروتونين تكون غير مستقرة، ولكن إذا تحول أحد البروتونات إلى نيوترون من خلال القوة الضعيفة (وهو فى الأساس عكس إنحلال بيتا) تتكون حينئذ نواة ديوتوريوم Deutrium مستقرة وتنطلق الطاقة التى تساعد على تأجج حرارة الفرن. وينشأ عن تفاعلات الاندماج الأخرى تحول الديوتوريوم إلى هليوم Helium . ويعد تكوين النوى الثقيلة من النوى الخفيفة فى النجوم القديمة أكثر تطورا . وتنتج عمليات الاندماج المتعاقبة للكربون فى البداية، بعد ذلك تنتج سلسلة كاملة من النوى الدائمة الأكثر تعقدا .

وعندما يقترب نجم من نهاية مخزون وقوده ، فإن تركيبه الداخلى يشبه قشور البصلة ، طبقة فوق طبقة من عناصر كيميائية مختلفة تمثل مراحل عديدة من التسلسل الطويل للتكوين . وطوال حياة النجم ، يتحول الهيدروجين تدريجيا إلى هيليوم ، ثم إلى عناصر كيميائية ثقيلة. وخلال مرحلة نشاطه النهائية، فقد يصبح نجم كهذا غير مستقر، ولا تتمكن التفاعلات النووية المتداعية من أن تبقى على الحرارة الداخلية والضغط الشديدان المطلوبان لدعم النجم ضد وزنه الهائل. وحينئذ تفقد الجاذبية سيطرتها، وينفجر قلب النجم فى لحظة. وتفجر نبضة ضخمة من الطاقة فى صورة

جسيمات نيوترينو مع صدمات موجية تنطلق من قلب النجم، وتنتثر طبقات النجم الخارجية فى الفضاء، وتغوص العناصر الثقيلة فى أعماق مركز النجم. ويطلق على هذا الانفجار ، انفجار السوبرنوفا(supernova explosion انظر الفصل الخامس). ويضيف كل انفجار إلى مادة المجرة العناصر الضئيلة، التى تعتبر أساسية فى تكوين كواكب صلبة وجامدة، مثل الأرض وصور الحياة الموجودة عليها. وعلى ذلك، فأجسامنا تكونت من البقايا الأحفورية التى كانت فى يوم من الأيام نجوماً لامعة، وأفنت نفسها قبل دهور من ظهور الشمس أو الأرض .

وتدل العناصر الثقيلة الموجودة حولنا فى العالم على تاريخ عنيف، غير أن تاريخ العناصر الخفيفة، كالهيدروجين والهليوم، يرجع لفترة أكثر عنفا من تاريخ الكون، ألا وهو الانفجار العظيم. ويبرز سؤال عما إذا كانت هذه العناصر موجودة منذ البداية، أم أنها أيضا أحافير لبعض الفترات القديمة جدا.

وتزودنا الحرارة الشديدة التى صاحبت الانفجار العظيم بفكرة لفهم الكون القديم. وفى أبسط صور نظرية الانفجار العظيم الساخن، تفترض أن الكون قد انفجر إلى الوجود من حالة انضغاط شديد وحرارة لانهائية . ولما استمر التمدد أخذت درجة الحرارة تنخفض من ما لا نهاية ، بصورة سريعة فى البداية، وبعد ذلك بصورة أكثر بطئا،إلى أن برد الكون بدرجة كافية ساعدت على تكون النجوم والمجرات. وقبل حوالى 100000 سنة من ميلاد الكون، ظلت درجة الحرارة أكثر من بضع آلاف درجة، ومنعت تكون الذرات. ولمدة تصل لمائة ألف عام ظلت المادة الكونية فى صورة بلازما plasma متوهجة من الهيدروجين والهليوم المتأينين. ولم تبدأ أولى الذرات تتكون إلا عندما بدأ الكون يبرد لدرجة حرارة مثل درجة حرارة سطح الشمس. فالذرات، إذن، هى أشياء باقية منذ الـ 100000 سنة التى تلت بدء الخليقة .

بيد أنه لا يزال هناك سؤالا أكثر إثارة للاهتمام. ماهو مصدر نوى الهيدروجين والهليوم؟ هل هى أيضا بقايا عمليات فيزيائية حدثت منذ أزمنة قديمة؟ خلال بضع الدقائق الأولى من الانفجار العظيم،كانت درجة حرارة البلازما الكونية تزيد عن 10^6 كيلفين ، والتى كانت كافية لحدوث التفاعلات النووية . وباستخدام نماذج كمبيوتر تتضمن على بيانات نووية، يستطيع الفيزيائيون الفلكيون إعادة إنشاء تفاصيل النشاط النووى الذى حدث فى الدقائق الأولى للكون .

وفى نهاية الثانية الأولى، كانت درجة الحرارة 10^{10} كيلڤين - ساخنة جدا بحيث لم تسمح للنوى المتراكبة أن تتكون. وبدلا عن ذلك،امتلأ كل الفضاء بـ "حساء" من البروتونات وجسيمات النيوترينو فى حركة هيولية، ممتزجة بالإليكترونات والنيوترينو والفوتونات على هيئة (إشعاع حرارى) . وتمدد الكون القديم بسرعة فائقة ، حتى أنه عند انقضاء دقيقة واحدة، انخفضت درجة الحرارة إلى 10^{8} كيلڤين ، وبعد عدة دقائق انخفضت درجة الحرارة إلى أقل من المستوى الذى أصبحت فيه التفاعلات ممكنة. وهكذا فقد كانت هناك فترة وجيزة نسبيا لبضع دقائق استطاعت خلالها البروتونات والنيوترونات أن تتجمع مع بعضها البعض فى نوى متراكبة .

كان التفاعل النووى الرئيسى هو اندماج البروتونات النيوترونات لتكوين نوى الهليوم، التى تتكون كل نواة منه من بروتونين ونيوترونين. ولما كانت البروتونات أخف قليلا من النيوترونات،فقد وجدت بوفرة أكبر بعض الشىء، بحيث أنه عندما اكتمل إنتاج الهليوم ظلت بعض البروتونات حرة. وتظهر الحسابات أنه قد حدث شىء قليل جدا آخر فى الفترة القصيرة المتاحة؛ وهكذا فقد كان تركيب البلازما الخارجة حوالى 10% من نوى الهليوم و 90% من نوى الهيدروجين، الذى يعكس بدقة مرضية الوفرة الملحوظة لهذه العناصر فى الكون حاليا. والنتيجة هى أن عنصر الهليوم هو بقية أحفورية من الفرن البدائى،الذى استعر خلال بضع الدقائق الأولى التى أعقبت نشأة الكون .

ومن حسن الحظ أن كانت المادة الأولية غنية بوفرة بالبروتونات، ذلك لأن من بقية البروتونات غير المرتبطة أن حصل الكون على هيدروجينه. وبدون الهيدروجين لن تتوهج الشمس، ولن يكون هناك أية مياه فى الكون. ويبدو من غير المحتمل أن تنشأ حياة فى هذه الظروف .

2 - بقايا من الثانية الأولى :

حقيقة أن الفيزيائيين الفلكيين قد تعرفوا على حفرية من الدقائق القليلة الأولى للوجود يعتبر إنجازا رائعاً. بيد أن العلماء لا يقنعون أبدا، إذ يواصلون جهودهم دائما وراء الحدود المعروفة لموضوعهم إلى الهدف التالى. وهذا هو جوهر البحث، حيث أن

تفسير تكوين العناصر الكيميائية يتطلب معرفة الكون فى نهاية الثانية الأولى. ولكن ماذا عن اللحظات المبكرة، الفترات قبل الثانية الأولى؟

والشروع فى دراسة كهذه، تعتبر بمثابة الدخول فى عالم غريب ، من الحالات الغامضة للمادة والقوى غير المألوفة. إنها بمثابة استكشاف أعظم غموض على الإطلاق ،حدث الخلق ذاته. وللمساعدة على تكوين فكرة عن الكون قبل أن يصبح عمره ثانية واحدة،دعنا نتخيل أنه يمكننا ركوب آلة زمن تعود بنا لحظة بلحظة من الثانية الأولى إلى بداية الزمن الذى انفجر فيه الكون إلى الوجود. ولكن أحذر! إن معظم معرفتنا الحالية عن الثانية الأولى مبنية على الحدس والاستقراء ، حيث يصعب التوصل إلى دلالة مؤكدة . وما يأتى فى هذا الفصل والفصول التالية يعتبر نتيجة نماذج نظرية ، البعض منها مثير للجدل والتأمل .

ولإدراك الأحداث التى تكشفت فى الكون القديم جدا، فمن الضرورى فهم طبيعة النشاط الكونى. فإذا أمكننا العودة بالزمن من اليوم الحالى، يجب أن نجد أنه كلما رجعنا أكثر كان معدل الأحداث أكثر سرعة. وعلى مدى تاريخ الأرض البالغ 4600 مليون سنة كان التغير بطيئا. وتسجل الأحقاب الجيولوجية بملايين السنين. وإذا أمكننا العودة إلى بضعة ملايين سنة فضلا عن بضعة آلاف الملايين من السنين من الانفجار العظيم، يجب أن نجد أشياء تحدث بصورة أسرع، فقد بدأت المجرات تتكون بعد بضع مئات الملايين من السنين بعد الانفجار العظيم، فى حين تكونت النجوم بسرعة أكبر، ربما فى بضعة عشرات الملايين من السنين، بعد الانفجار العظيم .

وما قبل 100000 سنة من الانفجار، كان الكون بلا معالم تقريبا . وتلك هى مرحلة البلازما المتأججة. ويمكن تقدير سرعة الأحداث هنا من خلال معدل التمدد الكونى، والمعدل الذى بدأت تهبط عنده درجة الحرارة . فقد كان التمدد حينذاك أسرع 100000 مرة تقريبا عما هو عليه الآن. وكانت درجة الحرارة عدة آلاف الدرجات . وفى الأزمنة المبكرة ، كان لا يزال المعدل أسرع ودرجة الحرارة أعلى . وعند الزمن ثانية واحدة، كان الكون يتضاعف حجما فى حوالى ثانية، وبلغت درجة حرارته 10^{10} كيلفين . وخلال الثانية الأولى ، كانت خطى التغير لا تزال تتسارع بشكل متزايد ، إذ كانت مرتفعة بلا حد عندما تقترب من لحظة الخلق .

وبصـــورة رياضـيــة ، يوصف هذا المعـدل المتـســارع من النشــاط بعــلاقــة "عكسـيـة" .reciprocal relationship وعلى سبيل المثال، يتناسب معدل التمدد تناسبا طرديا مـع $^{1}/t$ ، وتتناسب درجـة الحـرارة مع T /١ ، حـيـث Tهـى الزمـن منذ بدء الخليقة. وكلما أصبح الزمن أصـغر فـأصغر ، ترتفع هذه الكميات أسرع فـأسرع نحو قيم لا نهـائية. ولما كان مستـوى النشاط يرتفع بصـورة حادة كلما عدنا بالزمن نحو اللحظة الأولى، فيـحتـمل أن كانت التـغيرات المهـمة تحدث فى فـترات زمنيـة أقصـر فأقصر. وحينئذ يكون من المهم اتباع "قوة الأسـاس عشرة Power of Ten" لـلـزمـن. وعلى سبيل المثال، فالكثير مما حدث خلال الفترة من 0.1 ثانيـة حتى ثانيـة واحدة ، قد حدث فى الفـتـرة من 0.01 ثانيـة إلى 0.1 ثانية وهلم جرا . وفى كل مرة، تقسم الفترة أكثر على عشرة،لذا نجد درجة تغير مماثلة مضغوطة فى تلك الفترة الأصغر .

والسـؤال الواضح الذى يبـرز عند هـذه المرحلة هو إلى أى مـدى أبعـد فى العـودة بالزمن يمكننا أن نستقرأ نموذج الكون المبكر بأى درجة من الثقة . وأتذكر عندما كنت طالبا فى أواخر الستينيات أحضر محاضرة عن علم الكون ، ذكر فيها خلفية الإشعاع الحـرارى للكون المكتـشف حـديثـا . بدا المحـاضـر مـرتبكا بعض الشـىء عند مناقـشـة حسـابات وفرة الهليوم المبنية على التفـاعلات النووية التى حدثت فى الدقائق القلائل الأولى. وضـحك مـعظم الطـلاب بصوت جـهير على جرأة الفكرة ، وشـعروا بوضـوح أن نمذجـة الكون فى تلك المرحلة المبكرة جدا كـان نموذجـا تأمليـا بدرجـة غيـر مـقبـولة . وحاليا فقد تغير الوضـع تماما . فقد أصبح حساب الهليوم جزءا من مبدأ كونى راسخ، ويتركز الانتباه على فترات أكثر قدما من مرحلة التكوين النووى .

وغالبا ما يأتى كمفـاجأة أن نـعلم أن الظروف القصـوى التى سادت خـلال مـعظم الثانية الأولى من عمر الكون تعتبر داخل حقل التـجريب الحـالى. وتستطيع مسـارعات الجسيم الحديثة،للحظة وجيزة، أن تحـاكى الظروف الفيزيائية ، التى حدثت فى فترة تصـل إلى 10^{-12} ثانية، عندما كانت درجة الحرارة تتذبذب نحو 10^{16} كيلفـين، وكـان الكون الكلى المرصود فى ذلك الحين منضـغطا فى منطقة لا تزيد عن منطقة المجموعة الشـمسية. ولذا، ففى عودتنا إلى عـالم الكون الأولى الغريب، يمكن أن تكون التـجربة والنظرية مرشدنا لجزء من الطريق .

وكلما عدنا أكثر فأكثر، يصادفنا حينئذ المزيد والمزيد من الظروف الفيزيائية القصوى. والمحدد الأكثر أهمية لقياس تقدمنا هى الطاقة. فالطاقة الموجودة بجسيم نموذجى كلما اقترب نحو "الحساء" البدائى أو البلازما ترتفع بصورة أكثر حدة كلما اقتربت اللحظة الأولى. وعند دقيقة واحدة ، يجب أن نتعامل مع طاقات نووية، وعند ثانية واحدة نصل إلى طاقات يمكن التوصل إليها من بعض الانبعاثات المشعة. وعند ميكروثانية واحدة، أى جزء من المليون من الثانية ، يمكن تشبيه طاقة جسيم نموذجى بالطاقة الموجودة فى معجلات الجسيم الأولى . وعندما نصل إلى البيكو ثانية (10^{-12} ث) – أى جزء من مليون مليون من الثانية – نقترب من حدود فيزياء الجسيم عالى الطاقة حاليا . وفيما وراء هذه النقطة، تعتبر النظرية هى وسيلتنا الوحيدة .

ورأينا فى الفصول الأولى، كيف أن قوى الطبيعة الأربع تعتبر حاليا أجزاء من قوة سيادية واحدة، هى القوة العظمى . وغلطتنا فى نسبة كيانات مستقلة إلى القوى الأربع هى أننا نرصد العالم عادة عند طاقات منخفضة نسبيا . وعندما ارتفعت الطاقة بدأت القوى فى الامتزاج. بداية،تمتزج القوة الكهرومغنطيسية مع القوة الضعيفة. ويحدث هذا عند طاقة تكافئ حوالى تسعون كتلة بروتونية، تماثل درجة حرارة 10^{15} كيلفين تقريبا . ويمكن للمعجلات الحالية أن تصل بالكاد إلى هذا النظام، الذى اكتشف فيه جسيمات W و Z الحاملة للقوى للنووية الضعيفة. والمزج الآخر للقوى الشديدة والضعيفة وفى النهاية الجاذبية لا يحدث إلا عندما تصل الطاقة إلى درجة هائلة ، ويجب علينا الوصول إلى مستوى مقياس بلانك لتوحيد القوى Planck scale .

ويمكننا أن ننظر إلى الكون الأولى على أنه معمل طبيعى ضخم، انطلقت منه طاقة الانفجار العظيم لتشغيل العمليات الفيزيائية، التى تعتبر وراء نطاق جميع تجارب المعامل. وعلى الرغم من أننا لا نستطيع اختبار القوة العظمى بشكل مباشر ، إلا أنه يمكننا اللجوء إلى علم الكون ليزودنا بأفكار عن نشاطها السريع الزوال فى لحظات الوجود الكونى الأولى .

وعند 10^{-12} ثانية بعد الانفجار العظيم، كانت درجة الحرارة من الارتفاع حتى أن جميع الجسيمات والجسيمات النقيضة المألوفة حاليا كانت تتكون من طاقة الحرارة المتاحة. واحتوى الكون فى هذه اللحظة على نسب متساوية تقريبا من المادة والمادة النقيضة . وأخيرا، عندما فنيت أزواج الجسيم–الجسيم النقيض التى كونت معظم

المادة، تركت أثر من المادة. وكانت كثافة الجسيمات من الارتفاع لدرجة أن حدث تعادل ،حيث كانت تجزأ فيه الطاقة بصورة متساوية على جميع أنواع الجسيم المختلفة .

وكانت طبيعة المادة الكونية عند هذه المرحلة لا تشبه بالمرة أى شىء ندركه من تجاربنا المباشرة. ولما كانت الهادرونات مكدسة بصورة كثيفة فلم تكن لها كيانات مستقلة. ولم توجد البروتونات والنيوترونات ككيانات مستقلة، وبدلا من ذلك، تكونت المادة الكونية من سائل من الكواركات،يتحرك هنا وهناك بصورة مستقلة تقريبا. وعلاوة على ذلك، عند الطاقات هذه، كان لا يوجد كل الاختلاف بين القوة الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية، وكانت طبيعة اللبتونات والكواركات طبيعة غريبة جدا. وجسيمات مثل الإليكترونات والميونات والنيوترينو ، التى نراها حاليا، لم تكن موجودة بصورها المألوفة. فالفوتونات وجسيمات W ، Z كانت مختلطة الهوية بطريقة قوية . وإذا أمكننا العودة بالزمن إلى هذه اللحظة، فسوف نرى طور جديد تماما من المادة، غير معروف للإنسان ، لم ترتب فيه الجسيمات نفسها بعد بالطريقة التى تمكن فيزيائى متخصص فى الجسيمات من التعرف عليها .

والمدخل إلى فهم طور درجة الحرارة العالية الغريبة فى تكوين هذه المادة هو انقطاع التماثل symmetry-breaking. وفى الفصل الثامن، شرحنا كيف يمكن أن ينقطع التماثل القياسى تلقائيا،ليمد الجسيمات بالكتل، ويعطى التمايز ما بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة. وهناك قاعدة عامة فى الطبيعة تقول بأن درجات الحرارة العالية تميل إلى الإبقاء على التماثل. ويأتى المثال الواضح لهذه القاعدة من صورتى الماء: السائل والثلج. فبلورة الثلج تظهر بعض الاتجاهات المفضلة فى الفضاء على طول أحرف الشبكية البلورية. وعندما يذوب الثلج، ينهار التركيب البلورى. وقطرة الماء التى تحل محل الثلج لا تبدى أى اتجاه مفضل فى الفضاء، أى أنها متماثلة. وتأثير رفع درجة الحرارة هو الإبقاء على التوجيه الأساسى للتماثل الذى انقطع تلقائيا بواسطة بلورة الثلج. وعندما تسخن المادة لدرجة حرارة 10^{16} كيلفين، يحدث طور تغير مشابه يماثل ذلك التغير من الثلج إلى الماء . ومع ذلك ففى هذه المرة، فإن التماثل الباقى هو ذلك التماثل القياسى الأساسى للقوة الكهروضعيفة .

وهكذا فإن تصورنا للكون عند واحد بيكو ثانية (10^{-12} ثانية) يعد من التصورات الرائعة . والكون مملوء بوسط سائل غريب، لم يعرف فى أى مكان فى الكون منذ ذلك الزمن. وسكان الكون ليسوا الجسيمات التى نعرفها،غير أن ذلك الطور الغريب من المادة لا يمكن أن يدوم. وعندما تنخفض درجة الحرارة يحدث تغير شامل . وبصورة مفاجئة، يمكن تمييز جميع الجسيمات المألوفة– الإليكترونات وجسيمات النيوترينو والفوتونات والكواركات. لقد انقطع التماثل القياسى، وانفصلت القوة الكهرومغناطيسية عن القوة الضعيفة.

وإذا تتبعنا تقدما آخر للمادة الكونية تقدما فى الزمن إلى الأمام ، تحدث مرحلة حرجة أخرى عند الزمن حوالى ميللى ثانية أى جزء من الألف من الثانية، نجد أن الضغط الشديد للكواركات المتأججة يتجمد فجأة إلى بحر من الهادرونات المعروفة تماما. ويمكن أن نميز الآن البروتونات والنيوترونات والميزونات والجسيمات الأخرى المتفاعلة بقوة ،حيث ترتبط الكواركات مع بعضها البعض فى وحدات متميزة من اثنين أو ثلاث. وعندما تنخفض درجة الحرارة إلى درجة أقل، فإن كل الجسيمات النقيضة الباقية، مثل البوزيترونات تفنى منتجة كميات كبيرة من إشعاع جاما Gama Rays، وتحتوى المادة الكونية حاليا على المزيج الأكثر انتشارا من البروتونات والنيوترونات والإليكترونات وجسيمات النيوترينو والفوتونات ، التى تهيئ المسرح لتكوين الهليوم بعد انقضاء ثوان قليلة .

ودراستنا للكون من 10^{-12} ثانية فصاعدا، قد أحدثت منظورا جديدا رائعا عن طبيعة المادة. ويمكننا أن نرى الآن أن البروتونات والنيوترونات،وهى الوحدات البنائية للكون،لم تكن موجودة بصورة دائمة ، لكنها تجمدت من حساء الكواركات عند حوالى 10^{-3} ثانية. ونتيجة لذلك ، يمكن النظر إلى هذه الجسيمات النووية على أنها أحافير المليثانية الأولى. ولا يزال الأكثر غرابة، حقيقة أن الليبتونات والكواركات التى تتكون منها كل المادة، لم تكتسب هوياتها الحالية إلا عند حوالى 10^{-12} ثانية. فهى بقايا من البيكو ثانية الأولى .

وتبدأ صورة منتظمة فى الظهور؛ يمكننا تتبع أثر أصل العناصر عروجا إلى فترات بعيدة من الاحتراق النجمى ، والتكوين النووى إلى الدقائق الأولى من الكون. والبروتونات والنيوترونات التى توجه لبناء هذه العناصر تجد أصولها عند لحظات

أقدم، بينما تعتبر اللبتونات والكواركات التى تبنى بالتالى الجسيمات النووية، بقايا من زمن كان الكون موجودا لما لا يزيد عن مليون المليون من الثانية. بيد أن الغموض لا يزال موجودا، ذلك الغموض الذى يعود بنا إلى فترة لا تزال أقدم- لما يسمى بعصر النظرية الموحدة الكبرى GUT era .

3 - تكون المادة لأول مرة :

عندما اقترحت نظرية الانفجار العظيم لأول مرة، لم يكن هناك تفسير مقنع وشيك الحدوث عن كيف جاءت إلى الوجود المادة التى انفجرت من الانفجار البدائى . واضطر علماء الكون إلى اللجوء إلى افتراض أن المادة التى نشأ منها الكون كانت موجودة منذ البداية. ولم تكن هناك عملية فيزيائية معروفة فى ذلك الوقت يمكن أن تجلب هذه المادة إلى الوجود. ويقدم علم الكون الحديث حاليا تفسيرا مقنعا جدا عن أصل المادة، مبنيا على أنشطة القوة العظمى .

وإمكانية تكون المادة من الطاقة المركزة كان معروفاً منذ عدة عقود. ولم يكن هناك نقص فى الطاقة أثناء الانفجار العظيم لتوليد كل المادة فى الكون المرئى-حوالى 10^{50} طنا فى مجموعها. والغموض هو كيف جاءت كل هذه المادة إلى الوجود دون أن تكون لها كمية متساوية من المادة النقيضة ، تلك المشكلة التى ذكرت بإيجاز فى الفصل الثانى. وعندما تظهر مادة فى المعمل، تنتج المادة النقيضة دائما أيضا، ويبدو أن التماثل ما بين المادة والمادة النقيضة تماثلا متأصلا فى قوانين الفيزياء. ويبرز ذلك السؤال الواضح أين ذهبت كل المادة النقيضة .

بداية ، يجب أن نتأكد من حقيقة أن الكون مصنوع كلية من المادة. فالصخر المتكون من مادة نقيضة يشبه من جميع الوجوه الصخر المتكون من المادة، ولا يمكنك التفريق بينهما بمجرد النظر. ومع ذلك ، فهناك طريقة أكثر وضوحا لتحديد أى منهما. فإذا جعلنا كل منهما يلامس قطعة من المادة، فإن صخر المادة النقيضة سيختفى فجأة فى انفجار نووى مروع . وحتى ذرة ضئيلة من غاز تجعل المادة النقيضة تتفاعل بعنف مطلقة كميات كبيرة من إشعاع جاما الكثيف . ومن الواضح، أنه يمكننا التأكد من أن الأرض تتكون كلية من المادة .

ولكن هل هذا اللاتماثل يسرى على الكون ككل؟ على قدر علمنا فإنه كذلك. فإذا احتوت مجرتنا على كميات كبيرة من المادة النقيضة، فإن التصادمات الحتمية التى تحدث بين الغازات والغبار والنجوم والكواكب والأجرام الأخرى سوف تنتج طوفان من إشعاع جاما،حيث تقابل المادة النقيضة المادة وتفنى نفسها. ومن المؤكد أن إشعاع جاما عند هذا المستوى الكثيف سوف يمكن اكتشافه ، وقد وضع الفلكيون حدا لمحتوى المادة النقيضة فى مجرتنا بجزء من ألف. وبخلاف البروتونات النقيضة التى تظهر بين الحين والآخر فى الأشعة الكونية، فإن المجرة تبدو مثالا رائعا للمادة النقية.

ومن المقبول أن تتكون بعض المجرات الأخرى تقريبا من المادة النقيضة مع قليل جدا من المادة. ومع ذلك، فحتى المجرات تتصادم من وقت لآخر وفى الماضى كانت أكثر قربا من بعضها البعض. ويمكن الكشف حاليا عن أشعة جاما فى هذه التصادمات . والأكثر من هذا، فبأخذ الكون ككل، فمن الصعب أن نرى كيف أن انفصال الخليط الأولى للمادة والمادة النقيضة يمكن أن يبقيا فى مناطق مستقلة من الفضاء . ويعتقد معظم علماء الكون أن الكون مصنوع فى الغالب من المادة، وقد ظل هذا اللاتماثل باقيا فى الكون منذ لحظاته الأولى .

منذ عشر سنوات، كان التفسير الوحيد المقدم عن عدم التساوى ما بين المادة والمادة النقيضة هو افتراض أنه كان موجودا منذ البداية،وأن المادة الناشئة عن الانفجار العظيم لها كمية غير متناسبة من المادة بالمقارنة بالمادة النقيضة. هذا النوع من "التفسير" – وهو اللجوء إلى ظروف أولية مبتدعة –يصنف ضمن الأقوال التى تشير بأن الأشياء هى عما عليه لأنها كانت كذلك. ولا يمكن أن يسمى هذا علما. وفى الواقع، فإن أى تركيب للمادة البدائية يمكن أن يفسر بنفس الطريقة. ولا يعطينا فكرة لماذا كان عدم التساوى قليلا أو كبيرا كما كان. ويبدو أنه لا يوجد سبب وجيه يفسر لماذا لم تخلق المادة،ولنقل بضعف أو حتى بمليون مرة .

4 - اكتشافات تدعم النظريات الموحدة :

التفسير الأكثر إقناعا هو افتراض أنه كان فى البداية تماثلا كاملا بين المادة والمادة النقيضة، وبطريقة ما، تطور رجحان المادة بعد البداية لأسباب طبيعية، وبعد ذلك أصبحت "ثابتة" فى الكون. ولم يصبح حينئذ من الضرورى الاعتقاد فى حالة أولية

بالصدفة ؛ حالة التساوى التام ، تعتبر حالة فريدة. وقد يمكن تفسير زيادة المادة عن المادة النقيضة بطريقة تحليلية على أساس نظرية فيزيائية.

ولكى تنجح هذه الفكرة، فمن الضرورى بشكل واضح أن يكون لدينا آلية فيزيائية تقطع تماثل المادة–المادة النقيضة، وهى بصورة تقليدية أحد قوانين الفيزياء المنيعة. وفى أواخر السبعينات،أصبحت آلية انقطاع التماثل موجودة فى هيئة النظريات الموحدة الكبرى. وكما شرحنا فى فصول سابقة، فإن أحد التنبوءات الأساسية للنظريات الموحدة الكبرى هى عدم استقرار البروتونات ،وأنها تتحلل إلى بوزيترونات. ويمكن النظر إلى العلاقة ما بين انحلال البروتون وعدم تماثل المادة–المادة النقيضة باعتبار الأجل القصير المحتمل لذرة هيدروجين(بروتون زائد إلكترون). وعندما ينحل بروتونا، فإنه يطلق بايون وبوزيترون Positron. وينحل البايون إلى فوتونين، بينما يمكن أن يفنى البوزيترون مع الإليكترون ليعطى فوتونين آخرين. وما بدأ كذرة مادة ينتهى كطاقة إشعاعية نقية، ومن خلال هذه العملية ، تحولت المادة كلية إلى طاقة دون أن تقابل مادة نقيضة . وحاليا يمكن عكس كل عملية فيزيائية ، والذى يعنى أنه يمكن تصور طاقة تتحول إلى مادة بدون إنتاج المادة النقيضة. وهذه العملية التى تحدث بدرجة متسارعة، يمكن أن تفسر كيف جاءت المادة إلى الوجود .

ولتصوير عملية الخلق بالتفصيل، فمن الضرورى العودة إلى ما يسمى بعصر النظرية الموحدة الكبرى، عشرة أس عشرون كاملة وراء عصر الكهروضعيفة التى درسناها فى الفصل السابق . وهذا يعنى محاولة وصف كون لا يزيد عمره عن 10^{-32} ثانية ! وفى تلك اللحظة كان الكون مملوءا بحساء من الجسيمات الغريبة ، البعض منها ثقيل بصورة فريدة ومكدسة بكثافة 10^{73} فى الكيلوجرام ، وتسبح فى حرارة عند درجة حرارة 10^{28} كليڤين .

والمكونات الأساسية لهذا الحساء الغريب هى الجسيمات المفرطة فى الثقل التى تنقل القوة الموحدة الكبرى، ما تسمى بجسيمات X التى ذكرناها فى الفصل الثامن. إنها تلك الجسيمات التى يمكن أن تحدث خللا ما بين المادة والمادة النقيضة. هذا كيف، عندما تنحل X فربما تعطى العديد من الجسيمات الوليدة والتى منها، ولنقل ثلثى من المادة و ثلث من المادة نقيضة فقط. وتتوقف التفاصيل الدقيقة لعدم التماثل هذا على النظرية الموحدة الكبرى الخاصة .

ومع ذلك فهناك نقطة يجب أن تؤخذ فى الاعتبار. سوف يحتوى الحساء البدائى أيضا على الجسيمات النقيضة لـX ، التى يرمز لها عادة بـ X شرطة . تذكر أننا افتراضنا أن الكون قد بدأ متماثلا ، ولذا سوف تكون هناك نسب متساوية من X و X بشرطة. وعندما تنحل الـ Xs فإنها تعكس عدم التماثل، إذ تنتج ثلثين مادة نقيضة إلى ثلث من المادة. والنتيجة النهائية هى أن يظل التماثل الأولى صحيحا .

وللهروب من هذا المأزق، يفترض الباحثون وجود خلل أساسى فى معدلات الانحلال لـ X و X بشرطة. ونتيجة لذلك، لا يعادل انحلال X بشرطة تماما انحلال X.ربما يكون هناك انحياز بحوالى واحد فى ألف مليون لصالح X ، إذ يعطينا وفرة واحد فى ألف مليون من المادة عن المادة النقيضة .

ما مدى معقولية هذا الافتراض؟ يعتبر الفيزيائيون مؤرخون متيقظون خصوصا عندما يتعلق الأمر بموضوعهم. فدروس التاريخ ليست أبدا فى منأى عن فكرهم عندما يتصل الأمر بوضع نظريات جديدة. ففى عام 1956، قام اثنان من الفيزيائيين أحدهما أمريكى هو ت.د. لى T.D.Lee والآخر صينى هو سى.ن. يانج C.N.Yang بوضع نظرية تنص على أن القوة الضعيفة تبطل تماثل مقدس سابق للطبيعة، يعرف بتماثل الازدواجية أو المرآة mirror symmetry . وحتى ذلك الوقت، افترض الفيزيائيون تقريبا دونما تفكير أن قوى الطبيعة لا تميز بين اليسار واليمين .

وعندما يقول فيزيائى أن قوى الطبيعة متماثلة من الناحية الازدواجية Parity ، فإنه يقصد أن العمليات الأساسية التى تسببها القوى ،سوف تبدو متساوية عند النظر إليها فى مرآة مباشرة. تخيل فيلم سينمائيا لانحلال أحد الجسيمات ، ثم أعرض الفيلم من آخره إلى أوله فى بروجيكتور. فإذا كانت القوى التى تؤدى إلى الانحلال متماثلة من ناحية الازدواجية ، فلا يستطيع فيزيائى أن يكتشف الخدعة .

كان الفيزيائيون واثقين من أن الجسيمات دون الذرية لا يمكنها أن تميز اليسار من اليمين، حتى أنهم لم يروا من الضرورى اختبار المادة. بعد ذلك جاء لى ويانج، اللذان تحديان الافتراض. وسرعان ما أجرت صينية-أمريكية أخرى، السيدة سى.أس.يو Mrs C.S.Wu تجربة أخرى ، ولصدمة الجميع ظهر أن لى ويانج كانا على حق. فالقوة الضعيفة لا تبطل حقا تماثل الازدواجية . وتجربة يو، التى تضمنت

قياس أعداد الإليكترونات اليمينية واليسارية المتحركة المنبعثة من نوى كوبالت مشع مصطفة بعناية، ثبت أنها نقطة تحول فى الفيزياء . وبعد ذلك، لم تكن هناك تماثلات آمنة .

فى عـام 1964 ، حدثت صدمة أخرى ، فقد كان هناك اهتمام كبير يتركز حول السلوك المثير لجسيم غريب يسمى ميزون Kالمتعادل. كان تماثل الجاذبية منتهكا لفترة طويلة، حيث لم يكن هناك مفر من قبوله، ولكن كان يفترض أن الجسيمات النقيضة ستبطل دائما تماثل الازدواجية بالمعنى العكسى للجسيمات. (الجسيمات النقيضة تعرض عادة خصائص عكسية للجسيمات). فلو كان هذا فى الواقع هو الحال، فلن يكون هناك مفر من أن الكون أمكنه أن يولد فى الانفجار العظيم وفرة من المادة أكثر من المادة النقيضة ،لأنه فى أى عملية كان يخلق فيها جسيم كانت هناك عملية مرآوية أخرى فى مكان ما يخلق فيها جسيم مضاد. والصفات المميزة لميزون Kالمتعادل الذى يعتبر نوع هجين من جسيم-جسيم مضاد، جعلت من الممكن اختبار هذه الأفكار .

وقام بالتجربة الحاسمة فى.ل.فيتش V.L.Fitch و جى.و.كرونين J.W.Cronin فى معمل بروكهافين القومى . فقد وجدا أن تماثل الازدواجية لا يبطل بطرق متساوية ومعاكسة بواسطة الجسيمات والجسيمات النقيضة، على الأقل طالما كانت ميزون K مأخوذة فى الاعتبار. وهنا أيضا خلل ضئيل، لكنه خلل ذا مغزى شديد الأهمية. فتماثل كهذا يعكس اختلالا أساسيا فى طبيعة القوى التى تعمل على انحلال بعض الجسيمات، يعطى دلالة تجريبية قوية على عدم التماثل بين المادة والمادة النقيضة .

فى أواخر السبعينيات بدأ الباحثون فى وضع نموذج للنظرية الموحدة الكبرى للانفجار العظيم على فرض أن عدم التماثل السابق يوجد بالفعل فى القوة الموحدة الكبرى، وجاءوا بأرقام تقترح بشكل نموذجى أن الخلل بين المادة والمادة النقيضة يصل إلى واحد فى كل ألف مليون. وهذا يعنى أنه لكل ألف مليون جسيم مضاد، يتكون ألف مليون وواحد جسيم. وعلى الرغم من أن الزيادة الطفيفة للجسيمات ضئيلة للغاية، فقد ثبت أنها مهمة بدرجة مطلقة. فعندما يبرد الكون فى النهاية، تفنى المادة النقيضة، وبفعلها هذا فإنها تدمر كل المادة تقريبا. ولكن ليس كلها تماما، فهناك جزء واحد فى كل ألف مليون زيادة من المادة عن المادة النقيضة تظل باقية ، ومن هذه البقية الضئيلة جدا، تكونت كل الأشياء فى الكون بما فيها نحن . لذا تعتبر كل المادة

فى النهاية من بقايا عصر النظرية الموحدة الكبرى 10^{-32} ثانية لا أكثر من بداية حدث الخلق .

وإن كان سيؤخذ بهذا التحليل ، فإن الغالبية الكاسحة من المادة التى خرجت من الانفجار العظيم قد اختفت قبل أن تنقضى الثوانى القلائل الأولى مع كل المادة النقيضة الكونية. والآن نحن نعرف سبب وجود قدر قليل جدا من المادة النقيضة فى الكون. غير أن هذه المادة المتلاشية قد تركت صدى لوجودها السابق فى صورة طاقة. وأنتج فناء المادة-المادة النقيضة حوالى ألف مليون فوتون من أشعة جاما لكل إلكترون وكل بروتون ظل باقيا. واليوم،برد هذا الإشعاع بسبب التمدد الكونى،وأحدث إشعاع الخلفية الحرارية الذى يملأ الكون. وخلافا للطاقة الكامنة فى المادة، فإن هذه الخلفية الحرارية Cosmic Back Ground Radiation هى السبب فى الجزء الأكبر من الطاقة الموجودة بالكون. وهكذا فإن لدينا نظرية لا تفسر فقط كيف جاءت المادة إلى الوجود، لكنها يمكن أن تفسر نسبة المادة إلى الطاقة فى الكون .

قبل مجىء النظريات الموحدة الكبرى، لم يكن من المستطاع تفسير درجة حرارة إشعاع خلفية الكون . فقد كان مستوى طاقة الحرارة المشعة مجرد محدد كونى آخر بالصدفة من الظاهر، قد نشأ فى الكون منذ خلقه. ولم يكن هناك سبب معروف لماذا لا يمكن أن تكون درجة الحرارة حاليا 0.3 أو 30 كيلفين ، بدلا من الـ 3 كيلفين الموجودة حاليا. وتوفر النظريات الموحدة الكبرى وسيلة لتفسير درجة الحرارة هذه من الفيزياء. فدرجة الحرارة الحالية الـ 3 كيلفين تناظر حوالى 10^9 فوتونا لكل بروتون وإليكترون موجود فى الكون، وتتفق هذه القيمة تماما مع الزيادة النموذجية واحد فى ألف مليون للجسيمات عن الجسيمات النقيضة التى تنبأت بها النظريات الموحدة الكبرى. ويمكن بذلك لأحد المحددات الأساسية لعلم الكون أن تفسر من خلال عمليات فيزيائية حدثت خلال عصر النظرية الموحدة الكبرى. فقد أمكن فى تلك اللحظة المبكرة، التى لا يمكن تصورها للوجود ، أن تم وضع الأساس لبناء الكون الذى نراه اليوم .

الفصل الثانى عشر

الانفجار العظيم كبداية للكون

1 - الانفجار العظيم هبة من الله :

كلما قمت بإلقاء محاضرة عن علم الكون، هناك سؤال واحد لا يغيب عن أذهان الطلبة : ما الذى أحدث الانفجار العظيم ؟ . منذ بضع سنوات لم تكن عندى إجابة مقنعة، وحاليا اعتقد أننا نعرف ما الذى أحدث الانفجار العظيم .

والسؤال، فى الحقيقة ، سؤالان متداخلان فى سؤال واحد. وينبغى أن نعرف لماذا بدأ الكون بانفجار، وما الذى أقدح هذا الاندلاع المفجر فى المقام الأول. بيد أنه يكمن وراء هذا اللغز غموض ميتافيزيقى عميق . فإذا كان الانفجار العظيم يمثل الأصل الفيزيائى للوجود، بما فيه الفضاء والزمن ، فبأى إدراك يمكن القول بأن هناك أى شىء تسبب فى هذا الحدث ؟ إنه هبة من الله .

وعلى مستوى مادى صرف ، يعتبر الظهور المفاجئ للكون فى انفجار هائل شيئا من المفارقة . وتعتبر الجاذبية من قوى الطبيعة الأربع التى تسيطر على العالم هى الوحيدة التى تعمل بصورة منتظمة على مستوى الكون . وفى كل خبراتنا ، فإن الجاذبية قوة تستميل الأشياء وتجذبها إليها . بيد أن الانفجار الذى كان علامة على خلق الكون يبدو أنه تطلب قوة دافعة ذات قدرة لا يمكن تخيلها لتفكيك أجزاء الكون ، ووضعه على مسار التمدد الذى استمر حتى اليوم.

وغالبا ما يقع الناس فى حيرة من اعتقاد أنه إذا كان يسيطر على الكون قوة الجاذبية، فينبغى أن تكون قوة قابضة وليست قوة تعمل على تمدده . والجاذبية كقوة جاذبة، تجعل الأشياء تنفجر نحو الداخل Implode بدلا من أن تنفجر نحو الخارج Explode . وعلى سبيل المثال ، فإن نجم مكتنز عملاق بصورة شديدة لن يكون قادر على دعم وزنه الداخلى، وقد ينهار ليصبح نجما نيوترونيا neutron star أو ثقبا

أسـودا black hole . وفى البداية الأولى للكون كانت المادة منضغطة بشدة ، أكثر من النجوم المكثفة. وهذه الحقيقة غالبا ما تثير السؤال " لماذا لم يتحول الكون البدائى نفسه إلى ثقب أسود منذ البداية ". ؟

ويترك الجواب التقليدى شيئا من عدم التصديق . ويدعى أن الانفجار البدائى يجب أن يقبل ببساطة على أنه حالة أولية. ومما لا شك فيه، أنه تحت تأثير الجاذبية ، تباطأ معدل تمدد الكون بصورة مستمرة منذ اللحظة الأولى ، غير أنه فى لحظة الخلق كان يتمدد بسرعة لانهائية . ولقد حدث الانفجار بهذه الطريقة، وبدأ الكون الوليد بتمدد أولى. فلو كانت القوة المفجرة أقل شدة، لسرعان ما سيطرت الجاذبية على المادة المتناثرة، وعكست التمدد ، وابتلع الكون بأسره فى انفجار داخلى مـأساوى ، محدثة شىء يشبه قليلا ثقبا أسودا. ومن المصادفة، فقد كان الانفجار من الكبر بحيث مكن الكون إما من الهروب من جاذبيته وجعله يستمر فى التمدد للأبد فى ظل دافع الانفجار الأولى، أو على الأقل ليبقى لعدة آلاف الملايين من السنين قبل خضوعه لانفجار داخلى وفناء بالانكماش .

والصعوبة فى هذا التصور التقليدى ، هو أنه ليس تفسيرا للانفجار العظيم . ونحن لم نفهم لماذا كانت لقوة الانفجار هذا الشكل الذى كانت عليه. لماذا لم ينفجر الكون بصورة أكثر عنفا، وفى تلك الحالة كان سيتمدد حتى اليوم بصورة أسرع ؟ وعلى نحو بديل ، لماذا لم يتمدد بصورة أكثر بطئا، أو حتى ينكمش الآن ؟ وبالطبع، فلو أن الكون قد أخفق فى الانفجار بعنف كاف ، واعتراه انهيار سريع، فلن نكون هنا لنسأل تلك الأسئلة؛ ومع ذلك فلا يحتمل أن يكون هذا تفسيراً .

ويظهر الفحص الدقيق أن أصل المفارقة هى بالفعل أعمق من هذا. ويحدد القياس الدقيق معدل تمدد قريبا جدا من القيمة الحرجة Critical value التى يهـرب عندها الكون من جاذبيته ويتمدد للأبد. فلو كان التمدد أبطأ قليلا لانهار الكون ، ولو كان أسرع قليلا لتناثرت المادة الكونية تماما منذ زمن بعيد. ومن المهم أن نسأل على وجه التحديد، بأى درجة كان معدل التمدد متناغما بصورة دقيقة ليقع على هذا الحد الفاصل الضيق بين الكارثتين. فلو كان معدل التمدد عند ثانية واحدة مختلفا عن قيمته الحالية بأكثر من 10^{-18}، لكان كافيا لأن ينهار التوازن الدقيق. وهكذا فقد توافق النشاط المفجر للكون مع الدقة غير المعقولة تقريبا لقوة تجاذبه. ولم يكن الانفجار

العظيم انفجارا عاديا، لكنه كان انفجارا ذا قيمة منتظمة بصورة متقنة . وفى التصور التقليدى لنظرية الانفجار العظيم، نحن مطالبون بأن نقبل ليس فقط أن الانفجار قد حدث ، لكنه حدث بطريقة مدبرة بارعة . فقد كانت الظروف الأولية ظروفا خاصة جدا بالفعل .

ومعدل التمدد واحدا فقط من عدة "عجائب" كونية ظاهرة، والعجيبة الأخرى هى نمط التمدد. وكما نلاحظ الكون حاليا، فإنه منتظم بصورة فريدة على المستوى العام ، فى طريقة توزيع المادة والطاقة. ومن وجهة نظر مجرة بعيدة، سيظهر التركيب العام للكون متطابقا تقريبا من ناحية الأرض، فالمجرات مبعثرة خلال الفضاء وذات كثافة متوسطة ثابتة، وفى كل نقطة من الفضاء يبدو الكون متماثلا من كل الاتجاهات. وإشعاع خلفية الكون ، الذى يغمر الكون يصل إلى الأرض بدرجة حرارة منتظمة فى كل اتجاه، بدقة تصل إلى واحد من عشرة آلاف. وقد انتقل لنا هذا الإشعاع من الفضاء عبر آلاف الملايين من السنوات الضوئية، ويحمل أثرا لأية انحرافات عن الانتظام يقابلها فى مساره .

والتناسق على المستوى العام للكون يحافظ عليها باستمرار مع الزمن كلما تمدد الكون . ويستتبع من ذلك أن التمدد ذاته يجب أن يكون منتظما بدرجة عالية جدا،ومعدل التمدد ليس متساويا فقط فى كافة الأنحاء، لكنه متساويا من منطقة لأخرى داخل الكون . فلو كان التمدد أسرع فى اتجاه عن الاتجاهات الأخرى، لانخفضت درجة حرارة إشعاع خلفية الكون ، التى تأتى من هذا الاتجاه، وشوه أيضا نمط حركة المجرات عند النظر إليها من الأرض . ولذا لم يبدأ الكون فقط بانفجار بقيمة دقيقة تماما، بل كان انفجار شديدا متناسقا أيضا، انفجار مستمر بنشاط منتظم تماما فى كل مكان وفى كل اتجاه .

وعدم الاحتمال الأقصى بأن ذلك الفوران المتزامن والمتماسك قد حدث بصورة تلقائية يزيد من حدته حقيقة أنه ، فى نظرية الانفجار العظيم التقليدية، كانت المناطق المختلفة فى الكون البدائى منعزلة بطريقة سببية . والنقطة هى أنه، على أساس نظرية النسبية، لا يمكن لتأثير فيزيائى أن ينتشر بسرعة أكبر من سرعة الضوء . وتبعا لذلك،لا يمكن لمناطق الكون المختلفة أن تتصل اتصالا سببيا إلا بعد انقضاء فترة زمنية. وعلى سبيل المثال، فعند ثانية واحدة من الانفجار الأولى، استطاع الضوء أن ينتقل ثانية ضوئية واحدة على الأكثر، والتى تساوى مسافة 300 ألف كيلومتر.

ومناطق الفضاء المتباعدة بأكثر من هذه المسافة ، لا يمكنها عند ثانية واحدة أن تمارس أية نفوذ على إحداها الأخرى. لكنه فى ذلك الوقت ، كان الكون الذى نلاحظه اليوم يشغل منطقة من الفضاء لا يزيد طولها عن 10^{14} كيلومتر. ويجب لذلك السبب أنه كان متكونا من حوالى 10^{27} منطقة منفصلة بطريقة سببية ، وجميعها على الرغم من هذا تتمدد بنفس المعدل بالضبط. وحتى اليوم، عندما نرصد إشعاع حرارة كونى قادم من جوانب مختلفة من السماء، فنحن نستقبل بصمات إبهام متطابقة عن مناطق الكون التى انفصلت عن بعضها البعض بنحو تسعون مرة المسافة التى استطاع الضوء أن يقطعها فى الوقت الذى كان فيه الإشعاع الحرارى ينبعث نحونا .كيف يمكن تفسير هذه الدرجة الملحوظة من التعاون بين أجزاء الكون المختلفة، التى لم تتصل ظاهريا ببعضها البعض ؟ كيف اتفق لها أن تتصرف بصورة مشابهة. والجواب التقليدى هو، ومع ذلك مرة أخرى ، بالرجوع إلى ظروف أولية خاصة. فالانتظام الشديد للانفجار البدائى يعتبر ببساطة : " لقد بدأ الكون على هذا المنوال .

" والانتظام العام للكون ليس هو كل ما فى الأمر من غموض على أساس حقيقة أنه، على مقياس أصغر نوعا ما، فإن الكون ليس منتظما . ويظهر وجود المجرات وتجمعات المجرات انحرافا عن الانتظام التام، انحراف يعتبر ، علاوة على ذلك، من نفس الدرجة والمستوى فى كل مكان . ولما كانت الجاذبية تميل لجذب أى تجمع كثيف من المادة ، فإن درجة اللانتظامية مطلوبة لإنتاج مجرات كانت أقل بعدا خلال الانفجار العظيم عما هى الآن . وعلى الرغم من هذا ، لابد وأن كانت هناك بعض درجات من عدم الانتظام فى المرحلة البدائية ، وإلا لما بدأت المجرات فى التكون . وفى نظرية الانفجار العظيم القديمة ، وكان عدم الانتظام هذا يفسر أيضا باستمرار على أنه ظروف أولية. وهكذا ، فقد كنا مطالبين باعتقاد أن الكون بدأ بحالة غريبة من النظام الفريد ، لكنه ليس النظام الصحيح تماما .

ويمكن إيجاز التفسير كما يلى: من خلال شد الجاذبية ، وهى القوة الكونية الوحيدة المتاحة، يجب التسليم بالانفجار العظيم ببساطة على أنه هبة من الله، حدث لا يسأل عن سببه ، حالة أولية افتراضية. والأكثر من ذلك ، كان حدث بدقة مذهلة ، لأن تركيب الكون الحالى الشديد الانتظام لم يكن لينشأ إن لم ينشأ الكون بهذه الطريقة تماما منذ البداية. وهذا هو أصل المفارقة .

2 - مشكلة تمدد أو انكماش الكون :

على الرغم من أنه لم يتم التوصل إلى تحليل لأصل المفارقة إلا فى السنوات القليلة الماضية ، فإن آثار الفكرة الأساسية تعود إلى زمن أبعد فى التاريخ، لزمن قبل معرفة تمدد الكون أو قبل معرفة نظرية الانفجار العظيم . فحتى نيوتن أدرك أن هناك لغز محير بسبب استقرار الكون. كيف يمكن أن تنتشر النجوم فى الفضاء دون دعم ؟ وقوة الجاذبية الكونية ، لكونها جذابة ، كان ينبغى عليها أن تجعل المجموعة الكاملة للنجوم تصطدم ببعضها ، وتنكمش نحو مركزها .

وللتخلص من هذا السخف ، استخدم نيوتن برهانا غريبا. وفكر ، إنه فى حالة انهيار الكون بتأثير جاذبيته ، فسيضطر كل نجم للسقوط فى مركز التجمع النجمى . ولكنه افترض لو كان الكون لانهائى ، فإن النجوم سوف تنتشر فى المتوسط بصورة منتظمة خلال فضاء لا متناه، ولن يوجد هناك مركز تجمع يمكن أن تهوى نحوه النجوم ؛ ففى فضاء لانهائى تشبه كل منطقة فى الكون المنطقة الأخرى. وأى نجم معين سيتلقى جذبا من كل جيرانه ، غير أن هذا الجذب سيتوزع فى اتجاهات مختلفة ، ولذا لن تكون هناك قوة خالصة منتظمة لنقل نجم نحو أى مكان معين من التجمع العام .

وعندما قدم أينشتاين نظرية للجاذبية خلفا لنظرية نيوتن بعد مضى مائتى سنة، فقد كان منزعجا تماما ، كيف يمكن للكون أن يتجنب انهيار؟ . فقد نشر أول بحث له عن علم الكون قبل اكتشاف هابل الشهير لتمدد الكون، وافترض آينشتاين مثل نيوتن أن الكون كان ثابتا. ومع ذلك فقد كان حله لمشكلة الثبات حلا مباشرا. واعتقد آينشتاين أنه لمنع الكون من الانفجار للداخل تحت تأثير جاذبيته، يجب أن تكون هناك قوة كونية أخرى معادلة لقوة الجاذبية. وهذه القوة الجديدة ستكون قوة طاردة بدلا من أن تكون جاذبة، قوة دافعة توازن جذب الجاذبية. وفى هذا الخصوص ، يمكن اعتبارها "مضاد الجاذبية "antigravity ، مع أن " قوة الطرد الكونية" Cosmic Replusion Force هى الوصف الأكثر دقة. ولم يستحضر آينشتاين فى ذهنه صورة قوة الطرد الكونية بطريقة خاصة. فقد وجد أن معادلات المجال الجذبى تضمنت حد اختيارى Op-tional Term ، التى تسمح بظهور قوة بالخصائص المطلوبة بالضبط .

وعلى الرغم من أن فكرة وجود قوة طاردة تعمل ضد جاذبية الكون هى فكرة يسهل استيعابها فى مفهوم واسع ، فإن الخصائص الفعلية للقوة هى حتما خصائص

غريبة . وغنى عن القول أننا لم نلاحظ أى من هذه القوى على الأرض ، ولا أى تلميح عن وجود أحد منها خلال القرون العديدة من الفلك الكوكبى . ومن الواضح، أنه إذا وجدت قوة طاردة كونية ، فيجب أن يكون لها خصائص أن لا تؤثر بشكل واضح على المدى القريب ، لكنها تتجمع فى قوة على مدى مسافات فلكية . وكان سلوك من هذا النوع يناقض كل ما نعرفه عن القوى ، التى تميل لأن تكون قوية عندما تتقارب، وتضعف مع البعد . والقوى الكهربية والجذبية ، على سبيل المثال، تهبطان بشكل منتظم إلى الصفر وفقا لقانون التربيع العكسى . وعلى الرغم من هذا، فقد خرجت قوة من هذا النوع الغريب إلى حد ما بصورة طبيعية من نظرية آينشتاين .

والطرد الكونى Cosmic Repulsion الذى وضعه آينشتاين يجب ألا يعتبر فى الحقيقة قوة خامسة من قوى الطبيعة. والأفضل أن ينظر إليه على أنه نبت غريب من الجاذبية ذاتها . وفى الواقع يمكن عزو تأثيرات الطرد الكونى إلى جاذبية عادية إذا ما اختير مصدر المجال الجذبى لأن يكون وسطا ذا خصائص غير عادية . ووسط مادى مألوف ، مثل غاز يولد ضغطا، غير أن الوسط الكونى الافتراضى لكونه يناقش هنا يفترض أن يكون له ضغطا سالبا ، أو شد . وللحصول على فكرة عما يتضمنه، تخيل أن بإمكاننا ملأ وعاء بهذه المادة الكونية التخمينية. وبدلا من الضغط نحو جدران الوعاء مثل غاز عادى ، فإن الوسط الكونى سيحاول جذب الجدران نحو الداخل .

ويمكننا تصور الطرد، نتيجة لذلك، إما كنوع تابع للجاذبية ، أو كمسبب من الجاذبية العادية لوسط سائل غير مرئى ذا ضغط سالب يملأ كل الفضاء. ولا يوجد تعارض ، بصورة عرضية، بين حقيقة أن الضغط السالب يمتص على جدران الوعاء، وحقيقة أن الوسط الافتراضى يولد طردا على المجرات بدلا من جذبها. وترجع القوة الطردية إلى جاذبية الوسط ، وليس إلى تأثيره الميكانيكى . وفى أية حالة ، تنشأ قوى ميكانيكية من اختلاف الضغط ، وليس من الضغط فى حد ذاته ، ويفترض أن السائل يملأ كل الفضاء ، ويمكن ألا يحتوى فى وعاء. وفى الواقع ، فإن راصدا مغمورا فى الوسط لن يدرك أية مادة ملموسة على الإطلاق ، ويبدو الفضاء فارغا تماما .

وعلى الرغم من هذه السمات الغريبة بعض الشىء ، أعلن آينشتاين آنذاك أن لديه نموذجا مقنعا للكون متزنا بين القوة الجاذبة للجاذبية والقوة الطردية الكونية المكتشفة حديثا . وباستخدام بعض الحسابات البسيطة، قام بحساب الشدة التى تحتاجها القوة

الطاردة لكى توازن جاذبية الكون . واستطاع آينشتاين أن يؤكد على أن الطرد سيكون طفيفا داخل المجموعة الشمسية،وحتى فى المجرة التى لن نستطيع تحديدها بالأرصاد . ولفترة بدا أن اللغز القديم الأمد وجد حلا بصورة رائعة .

بعد ذلك بدأت الأشياء تسير فى طريقها الخاطئ. أولا، كانت هناك مشكلة تتعلق بالاستقرار Stability. وكانت الفكرة الأساسية ربط قوى الجذب والطرد بصورة دقيقة . ولكن مثل العديد من تأثيرات الاتزان ، فهذا التوازن ظهر أنه مسألة دقيقة. فلو كان كون آينشتاين الساكن ،على سبيل المثال، امتد جزء، لانخفضت قوة جذب الجاذبية (التى تتلاشى مع البعد) قدرا قليلا، بينما ترتفع قوة الطرد الكونى(التى تزداد مع البعد). وسوف يؤدى هذا إلى اختلال التوازن،حيث يفوز الطرد، ولا يزال يضغط بتمدد أكبر، ويؤدى إلى الانتفاخ النهائى الهارب للكون تحت تأثير طرد كلى سائد. ومن ناحية أخرى، فإذا انكمش الكون قليلا، فسوف ترتفع قوة الجاذبية قليلا، وسوف ينخفض الطرد، ويجعل الجاذبية تفوز، وينكمش الكون حينئذ بصورة أسرع وأسرع نحو الانهيار الكلى، الذى حاول آينشتاين أن يتجنبه. وهكذا، فإن أقل حركة مفاجئة وسريعة، تعمل على انهيار الاتزان المتزن بصورة دقيقة محدثة كارثة كونية .

بعد ذلك فى عام 1927، اكتشف أدوين هابل تمدد الكون، ونتيجة لذلك أصبحت كل تأثيرات الاتزان مهملة . وقد كان واضحا بصورة مباشرة أن الكون يتجنب الانفجار الداخلى،لأنه اعتاد على الانفجار نحو الخارج. ولو أن آينشتيان لم يشغل باله بالقوة الطاردة، فمن المؤكد أنه كان سيصل لاستنتاجها نظريا، ولأمكنه التنبوء بتمدد الكون قبل أن يكتشفه الفلكيون بعشر سنوات. ومن المؤكد أن هذا كان سينظر إليه فى التاريخ على أنه واحد من التنبوءات النظرية العظيمة لكل العصور. والأمر هكذا، فقد تخلى آينشتاين عن قوة الطرد الكونى وهو فى حالة شعور بالغثيان. وأخذ مؤخرا يتحسر:" لقد كانت أكبر غلطة فى حياتى". ولكن على أية حال كان نهاية القصة .

اخترع آينشتاين الطرد الكونى لحل مشكلة غير موجودة ، ألا وهى كيفية تفسير كون ساكن static universe . ولكن مثل جميع الجن ، فبمجرد أن يخرج مرة من الزجاجة لا يستطيع أحد أن يعيده إلى مكانه مرة أخرى،واستمرت احتمالية ديناميكية الكون فى التنافس بين القوى الجاذبة والطاردة . وعلى الرغم من أن الأرصاد الفلكية لا تكشف عن وجود طرد كونى فعال، فلا يمكنها إثبات عدم وجوده. وربما يكون من الضعف لأن يظهر بعد .

وعلى الرغم من أن معادلات المجال Field Equations لآينشتاين تسمح بوجود قوة طاردة بصورة طبيعية، إلا أنها لم تضع قيودا على شدة القوة Strengh . وقد كان لآينشتاين مطلق الحرية فى التفكير بعد تجربته المريرة ، فى أن الشدة كانت بالتحديد صفر ، وبذلك ألغى الطرد كلية . غير أنه لم يكن يوجد سببا قهريا لأن يفعل هذا. وكان علماء آخرون سعداء بالإبقاء على الطرد ، على الرغم من أنه لم تعد هناك حاجة إليه من أجل هدفه الأصلى . وقد تساءلوا أنه فى غياب وجود دلالة على العكس ، لا يوجد أحد يبرر جعل القوة صفر.

ومن السهل استنتاج نتائج الإبقاء على قوة طرد فى سيناريو الكون المتمدد . ففى فترة مبكرة من عمر الكــون ، عندما كان الكون منضغطا، كان فى الإمكان تجاهل الطرد . وخلال هذه المرحلة ، كان تأثير جذب الجاذبية هو إبطاء سرعة التمدد، بنفس الطريقة التى تنطلق فيها قذيفة مصوبة لأعلى أن تبطأ بفعل جاذبية الأرض. فإذا افترض أن الكون بدأ فى التمدد بسرعة ، فسوف تعمل الجاذبية حينئذ بانتظام على تقليل المعدل إلى القيمة المرصودة حاليا. وبمرور الزمن، تبدأ قوة الجاذبية فى الضعف مع تناثر المادة الكونية . وفى المقابل، يزداد الطرد الكونى لأن المجرات تتباعد عن بعضها البعض . وفى النهاية، تتفوق قوة الطرد على جذب الجاذبية، ويبدأ معدل التمدد فى الارتفاع مرة أخرى، ويتزايد أسرع فأسرع . ومن ذلك الحين فصاعدا يسود الكون طرد كونى إلى الأبد . وفكر الفلكيون فى أن هذا السلوك الغريب ،الذى يبدأ فيه الكون بالتباطؤ،ثم التعاجل مرة أخرى ، لا بد وأن يكون واضحا فى الحركة المرصودة للمجرات. وقد فشلت أرصاد فلكية دقيقة فى تقديم أية أدلة مقنعة لهذا التعاقب ، على الرغم من أنه من وقت لآخر كانت تظهر ادعاءات عكس ذلك .

ومما يدعو للعجب، فإن فكرة الكون المتأثر بالتمدد المنفلت، كانت موضوع جدل من الفلكى الهولندى ويلهلم دى سيتر Wilhelm de Sitter فى عام ١٩١٦، قبل سنوات عدة من اكتشاف هابل تمدد الكون. وقال دى سيتر أنه إذا كان الكون خاليا من المادة العادية، فسوف تكون قوة الجاذبية الجاذبة المعتادة حينئذ غائبة ، وسوف يصبح الكون تحت تأثير الطرد. وسوف يؤدى هذا إلى تمدد الكون . (وقد كانت هذه الفكرة فى ذلك الوقت فكرة جديدة .)

وبالنسبة لراصد، لن يكون قادرا على رؤية وسط سائل غير مرئى غريب ذو ضغط سالب Negative Pressure ، فربما يظهر تماما أن الفضاء الفارغ يتمدد. ويمكن الحكم على التمدد عن طريق وضع أجسام اختبارية فى مواضع عديدة وملاحظتها أثناء حركتها. واعتبرت فكرة تمدد الفضاء الفارغ ليست سوى فضول فى ذلك الوقت، على الرغم من أنها ظهرت فكرة تنبوعية بدرجة ملحوظة، كما سيتبين لنا . ما الذى يمكن استخلاصه من هذه القصة الطويلة التى دامت لسنوات عديدة ؟ فحقيقة أن الفلكيين لا يمكنهم رؤية قوة طاردة كونية فعالة لا يعنى أن القوة غير موجودة. فربما تكون من الضعف بحيث لا يمكن استكشافها بأجهزة الرصد الحالية. وجميع الأرصاد تنطوى على قدر من الخطأ، فلا يمكن إلا الحصول على الحد الأعلى من شدة القوة فقط. ضع فى مقابل هذا، يمكن الزعم من خلال أسس جمالية أن تكون قوانين الطبيعة ستكون أبسط لو كان الطرد الكونى غائبا. هذا الجدل غير المقنع عن وجود "مضاد الجاذبية " ظل محتدما طوال سنوات عديدة عندما حدث فجأة انعطاف جديد تماما، أعطى الموضوع وضوحا غير متوقعا .

3 - نظرية التضخم وأحداث ما بعد الانفجار:

فى القسم السابق رأينا أنه لو كانت هناك قوة طرد كونى، فيجب أن تكون من الضعف بحيث لا يكون لها أى تأثير محسوس على الانفجار العظيم . غير أن هذا الاستنتاج يرتكز على افتراض أن شدة القوة الطردية لا تتغير مع الزمن . وفى أيام آينشتاين عمل الجميع بهذا الافتراض ، لأن القوة كانت تقترح فى النظرية . ولم يفكر أحد فى إمكانية أن يتولد الطرد الكونى بواسطة عمليات فيزيائية أخرى يمكن أن تتغير مع تمدد الكون. فلو نظر فى أمر هذه الإمكانية، لكان تاريخ علم الكون حينئذ مختلفا تماما، حيث يمكن للمرء حينئذ أن يتصور سيناريو، يطغى فيه الطرد الكونى بصورة خاطفة - تحت تأثير الظروف القصوى للكون المبكر - على الجاذبية جاعلا الكون ينفجر قبل أن يتلاشى إلى شىء تافه .

هذا السيناريو العام هو ما تمخضت عنه بالضبط الأبحاث الحديثة عن سلوك المادة والقوى فى الكون المبكر جدا . ويتضح حاليا أن طردا كونيا ضخما هو منتج ثانوى حتمى لأنشطة القوة العظمى . و"مضاد الجاذبية " التى ألقى بها آينشتاين من الباب عادت من النافذة .

والمدخل لفهم طرد كونى معاد اكتشافه هو طبيعة الخواء الكمى . وقد رأينا كيف أن مثل هذا الطرد يمكن أن ينتج بواسطة وسط غير مرئى غريب ، يبدو مشابها لفضاء فارغ لكنه ذا ضغط سالب. ويعتقد الفيزيائيون حاليا أن هذا ما يكون عليه الخواء الكمى بالضبط Quanum Vacuum .

وفى الفصل السابع ، أكدنا على كيف يجب النظر إلى الخواء بأنه جيشان للنشاط الكمى يعج بالجسيمات التقديرية ويمتلئ بالتفاعلات المعقدة . ومن المهم أن ندرك أنه، على المستوى الكمى للوصف ، يكون الخواء هو البناء السائد. وما نسميه جسيمات لا تعدو أن تكون اضطرابات صغرى مكونة فقاعات ترتفع فوق هذه الخلفية من بحر النشاط .

وفى أواخر السبعينيات ، أصبح من الواضح أن توحيد القوى الأربع يتطلب إعادة تقدير بالغ الأثر لطبيعة الخواء الفيزيائى . وافترضت النظرية أن كل هذه الطاقة الخوائية Vacuum Energy يمكن أن ترتب نفسها بأكثر من طريقة . ولتبسيط الأمر، يمكن أن يصبح الخواء مستثارا ويتخذ إحدى حالات الطاقة المختلفة جدا، بنفس الطريقة التى يمكن أن تستثار بها ذرة إلى مستويات طاقة أعلى . وستبدو هذه الحالات الخوائية العديدة متطابقة ، إذا أمكننا النظر إليها، لكنها تتصف بخصائص مختلفة جدا.

وقبل كل شىء ، تضمنت الطاقة انتقالات مفاجئة بكميات ضخمة من حالة خوائية إلى حالة أخرى . وفى النظريات الموحدة الكبرى ، لنأخذ مثالا ، تعتبر الفجوة بين طاقة الخواء الأدنى والأكبر طاقة كبيرة بصورة يصعب فهمها . ولكى نشعر بضخامة الأرقام المتضمنة ، اعتبر الطاقة الغامرة الضخمة من الشمس ، وقد تراكمت فوق بعضها طوال عمرها البالغ حوالى خمسة آلاف مليون سنة . وتصور هذه الكمية الهائلة من الطاقة – الخرج الكلى للشمس أثناء تاريخها كله – وضغطها فى حجم من الفضاء أقل من ذلك الحجم الذى تشغله المجموعة الشمسية. فسوف تبدأ حينئذ تتعامل مع نوع من الطاقة المكثفة التى تحتوى على حالة خواء نظرية موحدة كبرى .

وبجانب هذه الاختلافات المتذبذبة من الطاقة هناك تغيرات ضخمة على السواء فى ضغط Pressure الحالات الخوائية. ولكن هنا يأتى الانعطاف المهم ؛ فكل صور الضغط سالبة. ويتصرف الخواء الكمى تماما مثل الوسط الافتراضى السابق ، الذى ينتج

طردا كونيا، إلا أنه فى هذه المرة تكون الأرقام من الضخامة بحيث تصل شدة القوة الطردية 10^{120} مرة أكبر من الشدة التى طلبها آينشتاين لإنعاش كون ساكن .

ويتضح الطريق الآن لتفسير الانفجار العظيم . افترض أن الكون منذ البداية وجد نفسه فى حالة خواء مستثار (يسمى الفيزيائيون هذه الحالة الخواء "الزائف" false vacuum) . وفى هذه الحالة سيتعرض الكون لقوة طرد كونى بدرجة معينة، تحدث تمددا طائشا بمعدل ضخم . وفى الواقع، أنه خلال هذه المرحلة، سيشبه الكون نموذج دى سيتر الذى ذكرناه فى القسم السابق . والاختلاف هو أنه، فى حين تصور دى سيتر كونا يتمدد ببطئ على مدى مقياس زمن فلكى، فإن مرحلة دى سيتر مدفوعة بخواء كمى زائف تعتبر بعيدة عن البطء . وسوف تتضاعف منطقة نموذجية من الفضاء فى الحجم كل 10^{-34} ثانية أو نحو ذلك !

والطريقة التى يمضى بها هذا التمدد المفرط طريقة متميزة؛ فالمسافات تتزايد طولا بسرعة أسية. (وقد قابلنا مفهوم التغير الأسى فى الفصل الرابع.) وهذا يعنى أنه كــل 10^{-34} من ثانية تتضاعف كل منطقة فى الكون فى الحجم وبعد ذلك تستمر فى التضاعف مرة تلو الأخرى فى تعاقب . هذا النوع من التمدد الهارب أطلق عليه ألان جوث Alan Guth من معهد التكنولوجيا MIT فى ماساشوسيتس "التضخم" inflation ، الذى ابتكر الفكرة عام 1980 . وتحت تأثير تمدد متسارع وبسرعة مفرطة سرعان ما يجد الكون نفسه يتضخم بسرعة انفجارية. وكان هذا الانفجار العظيم .

وبطريقة ما، كان على المرحلة التضخمية أن تتوقف . وكما هو الحال فى كل نظم الكم المستثارة، فالخواء الزائف غير ثابت ، وينحو نحو الاضمحلال . وعندما يحدث ذلك تختفى قوة الطرد. وسوف يكون من نتيجة ذلك توقف التضخم ، جاعلا الكون تحت سيطرة جاذبية جاذبة عادية . وسوف يستمر الكون فى التمدد، بالطبع، من دافع أولى انتقل من خلال مرحلة التضخم، ولكن بمعدل هبوط منتظم. والأثر الوحيد الباقى حاليا من الطرد الكونى هو ذلك التمدد المتناقص تدريجيا .

ووفقا لسيناريو التضخم ، فقد بدأ الكون بحالة خواء خالية من المادة أو الإشعاع. فحتى لو كانت المادة والإشعاع موجودتان من البداية ، فسرعان ما كانت ستستأصل كل الآثار ، لأن الكون انتفخ بمعدل كبير خلال المرحلة التضخمية. وخلال هذه الفترة الوجيزة جدا، فإن منطقة الفضاء التى تشكل حاليا كل الكون المرصود قد نمت من

واحد من الألف من المليون من حجم بروتون إلى سنتيمرات عديدة . وكثافة أية مادة سابقة الوجود كانت ستهبط فى الأساس إلى الصفر .

وفى نهاية التضخم ، بعد ذلك ، كان الكون فارغا وباردا. ومع ذلك ، بمجرد أن توقف التضخم ، امتلأ الكون فجأة بحرارة شديدة . وترجع أصول هذا الوميض من الحرارة الذى أضاء الكون إلى الاحتياطات الضخمة من الطاقة المختزنة فى الخواء الزائف . وعندما انحل الخواء الزائف، أفرغت طاقته فى صورة إشعاع، عملت على تسخين الكون فى الحال لحوالى 10^{27} كليفين ، وكان ساخنا بدرجة كافية لحدوث عمليات النظرية الموحدة الكبرى . ومن هذه النقطة فصاعدا نشأ الكون وفقا للحرارة القياسية لنظرية الانفجار العظيم .

فالمشكلة الشائكة لما أحدث فى الانفجار العظيم فسرتها النظرية التضخمية inflationary theory . فالفضاء الفارغ ذاته انفجر تحت تأثير القوة الطاردة للخواء الكمى. غير أن هناك لغز لا يزال قائما. فالطاقة الهائلة للانفجار البدائى – التى اتجهت لتوليد كل المادة والإشعاع الذى نراه اليوم فى الكون – من المؤكد أنها جاءت من مكان ما ؟ ولم يكن لنا لنشرح وجود الكون إلى أن نعرف مصدر الطاقة البدائية .

4 - المجهود الذاتى الكونى بعد الخلق :

جاء الكون إلى الوجود وسط زخم هائل من الطاقة، وظلت هذه الطاقة باقية فى إشعاع الخلفية الحرارية، وفى المادة الكونية– الذرات التى تتكون منها النجوم والكواكب – فى صورة "كتلة" أو طاقة مختزنة. واستمرت أيضا فى الاندفاع الخارجى للمجرات، والأنشطة الدوامية لكل الأجرام الفلكية . وطوقت الطاقة البدائية الكون الوليد، واستمرت تدفعه حتى هذا اليوم .

من أين جاءت هذه الطاقة الحيوية vital energy التى منحت كوننا الحياة ؟ ووفقا للنظرية التضخمية،جاءت الطاقة من فضاء فارغ Empty Space ، من الخواء الكمى . ولكن هل هذه إجابة مقنعة تماما ؟ ولا نزال نسأل كيف اكتسب الخواء طاقة بادئ ذي بدء .

وعندما نسأل من أين جاءت الطاقة ، فنحن نفترض افتراضا مهما عن طبيعة الطاقة . وأحد القوانين الأساسية فى الفيزياء هو قانون حفظ الطاقة law of conservation of energy ، الذى ينص على أنه على الرغم من أنك تستطيع تحويل الطاقة من صورة لأخرى، فإن الكمية الكلية للطاقة تظل ثابتة. ومن السهل التفكير فى أمثلة أين يمكن اختبار هذا القانون . افترض أن لديك موتورا ومصدرا من الوقود ، واعتاد الموتور أن يعمل بواسطة مولد كهربى ، والذى بدوره يشغل سخاناً ، فعندما ينفد الوقود ، فإن طاقته الكيميائية المختزنة ستتحول من خلال الطاقة الكهربية إلى طاقة حرارية. وإذا استخدم الموتور بدلا من ذلك فى نقل وزن لأعلى برج ، وانطلق الوزن بعد ذلك، فعند اصطدامه بالأرض فإنه سوف يولد كمية الطاقة الحرارية نفسها التى حصلت عليها بواسطة السخان . والنقطة هى أن مهما حاولت تحريك الطاقة أو تغيير صورتها ، فمن الظاهر لا يمكن أن تتكون أو تفنى . أنه القانون الذى يستخدمه المهندسون كل يوم .

إن لم يكن من المستطاع إيجاد الطاقة أو إفنائها،فكيف جاءت الطاقة البدائية إلى الوجود؟ هل تم حقنها ببساطة مع بداية الزمن، وهى حالة أولية خاصة أخرى ؟ إن كان الأمر كذلك ، لماذا احتوى الكون على مقدار الطاقة الذى يحتوى عليها ؟ فهناك حوالى 10^{68} جول من الطاقة فى الكون المرصود؛ لماذا لم تكن 10^{99}، أو أى رقم آخر ؟

ونظرية التضخم هى إحدى الإجابات العلمية (فى مقابل الإجابة الميتافيزيقية) الممكنة لهذا الغموض . ووفقا للنظرية، فقد بدأ الكون فى الأساس بطاقة صفر،ونجح فى استحضار القدر الكبير أثناء الـ 10^{-32}من الثانية الأولى . ويكمن المدخل إلى هذه الأعجوبة فى الحقيقة الأكثر روعة عن علم الكون ؛ يفشل قانون حفظ الطاقة بمعناه المعتاد عند تطبيقه على الكون المتمدد.

وفى الواقع ، فقد قابلنا من قبل هذه النقطة . فالتمدد الكونى يجعل درجة حرارة الكون تهبط. فقد تضاءلت طاقة الحرارة المشعة التى كانت شديدة جدا فى المرحلة البدائية إلى درجة حرارة قريبة من درجة الصفر المطلق [1] absolute zero. أين ذهبت

(1) درجة الصفر المطلق : أدنى درجة حرارة يمكن الوصول إليها نظرياً ، وتصير عندها الطاقة الحرارية لجسيمات المادة صفرا ، وتعادل - 273.16° م

كل هذه الطاقة الحرارية ؟ والإجابة هى ، إنها استنزفت نفسها بعض الشىء لمساعدة الكون على التمدد ، بأن أضافت ضغطها إلى العنف المفجر للانفجار العظيم . وعندما يتمدد غاز عادى، فإن ضغطه يندفع للخارج ويحدث شغل Work، وبذلك يستنفد طاقته. وهذا يعنى إذا تمدد غاز عادى ، فإن طاقته الداخلية لابد وأن تهبط لتعوض الشغل المبذول . وفى تباين تام لهذا السلوك التقليدى ، يتصرف الطرد الكونى مثل سائل ذى ضغط سالب. وعندما يتمدد سائل ذا ضغط سالب، فإن طاقته ترتفع بدلا من أن تنخفض . وهذا بالضبط ما حدث فى الفترة التضخمية ، عندما دفع الطرد الكونى الكون نحو تمدد متسارع. وطوال الفترة كانت لا تزال الطاقة الكلية مستمرة فى الارتفاع، وعندما توقفت المرحلة التضخمية ، تراكمت الطاقة بمقدار ضخم . وبمجرد أن توقف التضخم ، أطلقت هذه الطاقة فى تفجر عظيم واحد، ولد كل الحرارة والمادة التى خرجت فى النهاية من الانفجار العظيم . ومنذ ذلك الحين فصاعدا، ساد تمدد الضغط الموجب positive-pressure expansion ، وبدأت الطاقة تهبط مرة أخرى .

وخلق الطاقة الأولية له مظهر السحر. فالخواء بضغطه السالب negative pressure الغريب ، يبدو أن له قدرة غير معقولة حقيقية ؛ فمن جانب ، ينتج قوة طردية قوية، تحدث تمدده المتسارع، ومن جانب آخر فإن هذا التمدد ذاته يستمر فى دفع طاقة الخواء أكثر فأكثر . فالخواء أساسا يدفع كمياته الهائلة من الطاقة. إن له عدم ثبات كامن بأن يستمر فى التمدد ، ويولد كميات غير محدودة من الطاقة الحرة . فقد منع الانحلال الكمى للخواء الزائف فقط استمرار الموقف السعيد.

والخواء هو وعاء الطاقة العجيب للطبيعة . ولا يوجد من حيث المبدأ حد لمقدار طاقة يمكن أن تتولد ذاتيا من التمدد التضخمى . إنها نتيجة جذرية على خلاف تام لاعتقاد قديم دام طوال قرون بأن "لاشىء يمكن أن يأتى من عدم"nothing can come out of nothing ، ذلك الاعتقاد الذى يرجع تاريخه على الأقل إلى عصر الفيلسوف اليونانى بارمينديس Paremenides فى القرن الخامس قبل الميلاد . ففكرة الخلق من عدم ، كانت تنتمى حتى فترة حديثة إلى مجال الدين. فقد اعتقد المسيحيون طويلا بأن الله خلق الكون من عدم ، غير أن إمكانية ظهور كل المادة والطاقة الكونية بصورة تلقائية نتيجة لعمليات فيزيائية بحتة ، نظر إليها العلماء على أنها إمكانية يتعذر الدفاع عنها تماما منذ عقد مضى من الزمان فقط .

ولهؤلاء الذين لا يرتاحون للمفهوم الكامل لشيء من عدم ، هناك طريقة بديلة للنظر إلى خلق الطاقة من الكون المتمدد. ولما كانت قوى الجاذبية هى عادة قوى جاذبة، فمن الضرورى أن يحدث شغل لإبعاد المادة عن جاذبيتها. وهذا يعنى أن طاقة الجاذبية لمجموعة من الأجرام هى طاقة سالبة؛ فإذا أضيف المزيد من الأجرام إلى النظام ، فسوف تنطلق الطاقة وتصبح طاقة الجاذبية أكثر سلبية لتعويضها . وفى سياق الكون التضخمى ، يمكن النظر إلى مظهر الحرارة والمادة على أنه مستعاض تماما بواسطة طاقة الجاذبية السالبة للكتلة المخلقة حديثا ، وفى تلك الحالة تكون الطاقة الكلية للكون صفرا، ولا توجد طاقة خالصة ظهرت برغم كل شيء ! ومع أن هذه الطريقة للنظر فى الخلق تعتبر جذابة ، فيجب ألا تؤخذ بجدية لأن المفهوم الكامل للطاقة له وضع مبهم إذا ما أخذت الجاذبية فى الاعتبار .

والتصرفات الغريبة للخواء هى بقية القصة، التى يحبها الفيزيائيون كثيرا،عن صبى يسقط فى مستنقع وينجو عن طريق جذب نفسه لأعلى بمجهوده الشخصى . والكون المخلوق ذاتيا يعتبر أكثر شبهها بهذا الصبى طالما كان يستطيع جذب نفسه لأعلى "بمجهوده الشخصى" : تماما من طبيعته الفيزيائية يفعم الكون نفسه بكل الطاقة اللازمة لخلق وبعث الحياة فى المادة، ويدفع أصله المفجر. وهذا هو المجهود الذاتى الكونى. فنحن ندين بوجودنا لقوته المدهشة .

5- نجاح نظرية التضخم :

بمجرد أن طرح آلان جوث الفكرة الأساسية للمناقشة بأن الكون خضع فى فترة مبكرة للتمدد السريع بصورة مفرطة، أصبح من الواضح أن السيناريو يقدم تفسيرا أنيقا للعديد من السمات الخاصة بالفعل عن علم الكون المتعلق بالانفجار العظيم .

وقد صادفنا فى قسم سابق تناقضات عديدة متناغمة تتعلق بالطريقة التى كان يتغلب فيها الانفجار الأولى بدرجة كبيرة من الظاهر على هذه الصعوبات . وفى النظرية الحديثة ، لايوجد نفق للمرور بين الحالتين الخوائتين ، ولكن بدلا عن ذلك فإن المحددات قد اختيرت بحيث يصبح انحلال الخواء الزائف بطيئا جدا حتى أعطى للكون وقتا كافيا لكى يتضخم . وعندما يحدث الانحلال فى النهاية فسوف تنطلق طاقة الخواء الزائف من خلال "فقاعة"، التى سرعان ما تشتد حرارتها إلى درجة 10^{27} كيلفين .

ويفترض أن كل الكون المرصود محصور داخل فقاعة واحدة. وهكذا، فعلى مقياس مفرط فى الكبر، فقد يكون الكون غير منتظما تماما، لكن منطقتنا(والكثير ورائها) تقع داخل سيادة الانتظام الهادئ .

ومما يدعو للعجب ، فالمبرر الأصلى لجوث لاختراع السيناريو التضخمى كان لمناقشة مشكلة كونية مختلفة تماما ،ألا وهى غياب الأقطاب الأحادية المغناطيسية magnetic monopoles. وكما أوضحنا بالفصل التاسع ، تتنبأ نظرية الانفجار العظيم القياسية بأن وفرة مفرطة من الأقطاب الأحادية كانت تخلق فى المرحلة البدائية . ويحتمل أيضا أن يكون قد صاحب هذه الأقطاب الأحادية أشياء غريبة تعرف بـ "الأربطة " و"الألواح" strings and sheets التى تعتبر نظائرها الأحادية والثنائية البعد . وكانت المشكلة هى كيف يتخلص الكون من هذه الكيانات غير المرغوبة . ويحل التضخم القطب الأحادى والمشاكل المتعلقة به بصورة أتوماتيكية ، لأن التورم الهائل للفضاء يخففها تماما إلى كثافة صفر .

وعلى الرغم من أن السيناريو التضخمى يظل نظرية تأملية ومتطورة إلى حد ما ، فقد طرح مجموعة أفكار تعد بتغيير وجه علم الكون للأبد. فلا يمكننا اليوم أن نتوقع فقط تفسير سبب حدوث انفجار عظيم ، ولكن يمكننا أن نبدأ فى فهم لماذا كان بنفس هذه الدرجة من الضخامة، ولماذا أخذ الشكل الذى كان عليه. ويمكننا أن نبدأ فى رؤية كيف أن انتظامية الكون ذات النطاق الواسع حدثت فى نفس الوقت لأشياء غير منتظمة محكمة على نطاق أصغر مثل المجرات. والانفجار البدائى الذى أحدث ما نعرفه بالكون ليس بحاجة بعد لأن ينظر إليه كغموض للأبد وراء نطاق العلم الفيزيائى .

6 - معجزة خلق الكون :

على الرغم من النجاح العظيم للتضخم فى تفسير أصل الكون ، فلا يزال الغموض موجودا. كيف وصل الكون إلى حالة الخواء الزائف أولا ؟ ما ذا حدث قبل التضخم ؟

وكان حساب علمى كامل بصورة مرضية عن الخلق سيفسر كيف جاء الفضاء (وبالتحيد الفضاء– الزمن) إلى الوجود، حتى يحل به التضخم بعد ذلك . وبعض العلماء يسرهم افتراض أنه إما أن الفضاء كان موجودا دائما، أو أن خلقه يقع خارج

نطاق مجال العلم . ومع ذلك ، فالقليلون أكثر تفاؤلا ، والخواء الزائف على وجه الخصوص،ربما يكون قد خرج من عدم بمعنى الكلمة نتيجة للعمليات الفيزيائية التى تخضع من حيث المبدأ للدراسة .

وكما لوحظ من قبل ، فإن الاعتقاد بأن شيء لايمكن أن يخرج من عدم لم يحتاج إلى إثبات إلا فى الآونة الأخيرة . فالمجهود الذاتى الكونى يقترب من المفهوم اللاهوتى لخلق جاء من عدم . وحقيقى بلا شك أن فى عالم الخبرة المألوفة تدين الأشياء عادة بوجودها لأشياء أخرى . فالأرض قد تكونت من السديم الشمسى ، وتكون السديم الشمسى من الغازات المجرية ، وهكذا. وإذا تصادف وأن قابلنا جرم يظهر فجأة من مكان ما ، فيجب أن نميل إلى اعتبار الحدث على أنه معجزة : تخيل أنك أغلقت خزانة فارغة وبعد ذلك فتحتها لبضع دقائق لتجد بعد ذلك أنها امتلأت بالنقود ، أو السكاكين ؟ وفى الحياة اليومية نتوقع أن كل شيء يجب أن يأتى من مكان ما ، أو من شيء ما .

ومن ناحية أخرى ، فإن الموقف ليس واضح تماما فى حالة الأشياء الأقل مادية. فمم يخلق الرسم على سبيل المثال، فالفرش والدهانات والخيش ، بالطبع ، مطلوبة ، ولكن هذه مجرد أدوات . فشكل الرسم - اختيار الأشكال والألوان ، النسيج ، التركيب ، -لا تخلقها الفرشاة أو الدهان . أنها من صنع الأفكار .

هل الأفكار والنوايا تخلق من شيء ما ؟ فمن المؤكد أن النوايا موجودة ، وربما كل النوايا والمقاصد يحتاجها المخ ، غير أن المخ هو موضع الإدراك للأفكار ، وليس سببها. والأمخاخ وحدها لا تخلق الأفكار بشكل أكبر من أجهزة الكمبيوتر التى تخلق الحسابات. ويمكن خلق أفكار من أفكار أخرى، لكن ذلك لا يزال يترك أصل الأفكار بلا تفسير . والأحاسيس تؤدى إلى بعض الأفكار ؛ والذاكرة أيضا تنتج أفكارا. ومع ذلك ، يعتبر معظم الفنانين أن أعمالهم نتيجة للإلهام التلقائى . وإذا كان هذا كذلك ، فإن خلق رسم - أو على الأقل فكرة الرسم - هو صورة خلق من عدم .

وعلى الرغم من ذلك ، هل يمكننا تصور أشياء فيزيائية ، أو حتى الكون كله، يأتى إلى الوجود من عدم ؟ ومن أحد الأماكن التى تؤخذ فيها هذه الإمكانية الجريئة بصورة جادة هى فى الساحل الشرقى للولايات المتحدة حيث يوجد تركيز فضولى للفيزيائيين

النظريين والكونيين الذين استغلوا الرياضة فى محاولة للكشف بالحدس حقيقة خلق سابق للعدم. من بين هذه الزمرة القليلة هناك ألان جوث فى معهد التكنولوجيا بماساشوتس وسيدنى كولمان Sidney Coleman من هارفارد وأليكس فيلنكين Alex Vilenkin من جامعة تفت وإد تريون Ed Tryon وهينز باجلز Heinz Pagels فى نيويورك. وجميعهم يعتقدون أنه بوجه أو بآخر "لا يوجد شئ ثابت" وأن الكون الفيزيائى تبرعم خارجا بصورة تلقائية من عدم، مدفوعا بقوانين الفيزياء. ويسلم جوث بصواب أن"هذه الأفكار هى أفكار تأملية بالقطع"."لكنها تحتمل فى بعض المستويات أن تكون صحيحة ... وأحيانا ما يقال إنه لا يوجد شيء كغذاء مجانى . ومع ذلك، فالكون هو غذاء مجانى . "

وفى كل هذه التخمينات، هناك عامل الكم الذى يقدم مفتاح الحل . فالسمة الأساسية لفيزياء الكم، كما رأينا فى الفصل الثانى هى تفكك علاقة السبب - التأثير . وفى الفيزياء الكلاسيكية القديمة يبسط علم الميكانيكا من التحكم الصارم للسببية. ونشاط كل جسيم، كل التواء وانحناء ، كان ينظر إليه على أنه مقرر بشكل مفصل بقوانين الحركة . وكان يفهم أن جسما يتحرك بصورة مستمرة بطريقة محددة تماما تبعا لنمط القوى المؤثرة عليه. وتضمنت قوانين الحركة على علاقة بين السبب والتأثير فى تعريفها ذاته ، بحيث أن الكون كله كان يفترض أنه منظما فى أمر صغير بواسطة النمط الموجود للنشاط،مثل ساعة عملاقة . وكان هذا كل المتضمن ، والسببية المعتمد عليها تماما التى دفعت ادعاء بيير لا بلاس Pierre Laplace عن آلة حاسبة قوية تكون قادرة على حساب التاريخ الكامل ومصير الكون من عمل قوانين الميكانيكا . والكون ، تبعا لوجهة النظر هذه ينكشف دائما على طول مسار سابق تحديده .

وقد حطمت فيزياء الكم نظام لابلاس العقيم ، المحافظ على النظام . وتعلم الفيزيائيون أنه عند المستوى الذرى للمادة والحركة هناك المبهم وغير المتوقع ، إذ يمكن للجسيمات أن تتصرف بطريقة شاذة، إذ تتمرد على الحركات المقدرة بشدة ، وتظهر فى أماكن غير متوقعة دون سبب واضح ، وحتى تظهر أو تختفى دون سابق إنذار .

والسببية ليست غائبة تماما فى عالم الكم، لكنها مترنحة وغامضة . وإذا كانت ، على سبيل المثال ، مثارة بطريقة ما بواسطة تصادم من ذرة أخرى ، فسرعان ما تعود إلى حالة طاقتها المنخفضة عن طريق انبعاث فوتون . وظهور الفوتون إلى الوجود يعد

نتيجة طبيعية لكون الذرة مثارة فى المقام الأول . ويمكننا من غير شك القول أن الإثارة كانت سببا فى خلق الفوتون . وبهذا المعنى يجعل السبب والتأثير مرتبطين معا . وعلى الرغم من هذا ، لا يمكن توقع اللحظة الحقيقية لخلق الفوتون ؛ فالذرة قد تنحل فى أية لحظة. ويمكن أن يحسب الفيزيائيون التأخير المتوقع أو المتوسط قبل أن يظهر الفوتون ، لكنه لا يمكنهم معرفة أية حالة فردية متى يحدث هذا الحدث . وربما يكون من الأفضل أن نصف تلك العملية بالقول بأن إثارة الذرة "ينشط الفوتون بدلا من أن يجعله يأتى إلى الوجود .

ونتيجة لذلك، فإن عالم الكم المتناهى الصغر لا يرتبط بشبكة قوية من التأثيرات السببية، ولكنه يرتبط أكثر بفوضى الأوامر والاقتراحات المطاعة بشكل فضفاض . وفى النظام النيوتونى القديم ، فإن قوة ستوجه جسما بصورة غير قابلة للتحدى" تحرك ! " وفى فيزياء الكم، فإن الاتصال هو دعوة أكثر من أن يكون نظام .

لماذا نجد فكرة أن شيئا يظهر بصورة مفاجئة من عدم فكرة لا يمكن تصورها ؟ وما ذا عن حدث كهذا يفترض العجائب وما فوق الطبيعة ؟ وربما تكمن الإجابة فى الاعتياد . فلم نصادف أبدا الظهور غير المسبب للأشياء فى الحياة اليومية ، فعندما يجذب الحاوى الأرنب من القبعة ، نعرف أننا قد خدعنا .

افترض أننا نعيش فعلا فى عالم ، تظهر فيه الأشـياء من وقت لآخر بصورة ملحوظة من مكان ما، بدون سبب واضـح ، بطريقة غير متوقعة تماما . وبمجرد التعود على هذه الأحداث فسوف نتوقف عن الإعجاب بها . وربما يكون فى عالم كهذا فمن السذاجة أن نتصور الكون الفيزيائى ككل ينفجر إلى الوجود من عدم .

والعالم التخيلى المذكور سابقا ، لا يختلف فى الواقع عن العالم الحقيقى . فإذا أمكننا بالفعل ملاحظة سلوك الذرة بصورة مباشرة بأعضاء حواسنا ، بدلا من وساطة أجهزة خاصة، يجب أن نرى مرارا أشياء تظهر وتختفى دون أسباب واضحة .

وتحدث الحالة الأقرب المعروفة لفكرة الخلق من عدم ، إذا أمكن إنشاء مجالا كهربيا قويا بدرجة كافية وعند شدة مجال حرجة، تبدأ الإليكترونات والبوزيترونات فى الظهور من مكان ما بطريقة عشوائية تماما. وتفترض الحسابات أنه بالقرب من سطح نواة يورانيوم يكون المجال الكهربى قويا بدرجة كافية ليكون على وشك إحداث هذا

التأثير . وإذا أمكن جعل الفوتونات تحتوى على حوالى 200 بروتون (ذرة اليورانيوم لها 92 بروتونا) فسوف نرى حينئذ الخلق التلقائى للإليكترونات والبوزيترونات . ولسوء الحظ ، فإن نواة ذات بروتونات عديدة جدا يحتمل أن تكون غير مستقرة بدرجة كبيرة ،غير أنه لا يوجد أحد متأكد من هذا.

والخلق التلقائى للإليكترونات والبوزيترونات فى مجال كهربى شديد يمكن النظر إليه على أنه نوع غريب من النشاط الإشعاعى ، يكون فيه الفضاء الفارغ – الخواء – هو الذى ينحل . وقد صادفنا من قبل فكرة أحد الحالات الخوائية تنحل إلى حالة أخرى . وهنا ينحل الخواء إلى حالة محتوية على جسيمات .

وعلى الرغم من أن انحلال الفضاء بواسطة مجال كهربى يصعب تحقيقه ، فإن عملية مشابهة تتضمن على الجاذبية قد تحدث بصورة طبيعية ، فبالقرب من سطح الثقوب السوداء، تكون الجاذبية من الشدة لدرجة أن الخواء يئز بدفق متواصل من الجسيمات المخلقة حديثا . وذلك هو إشعاع الثقب الأسود الشهير الذى اكتشفه ستيفن هوكنج . والجاذبية مسئولة فى النهاية عن خلق الإشعاع، لكنها لا تسببه بالمعنى النيوتونى القديم : فلا يوجد جسيم يظهر فى أى مكان وزمان نتيجة لقوى الجاذبية . وفى أية حالة ، فالجاذبية هى مجرد التواء للفضاء – الزمن ، لذا يمكننا القول أن الزمكان هو الذى يستحث خلق المادة .

وغالبا ما يشار إلى الظهور التلقائى للمادة من فضاء فارغ بأنه خلق من عدم. ومع ذلك، وبالنسبة للفيزيائيين ، فإن الفضاء الفارغ هو بون شاسع عن العدم: إنه جزء كبير جدا من الكون الفيزيائى. وإذا رغبنا فى إجابة عن السؤال الأساسى عن كيف جاء الكون إلى الوجود فلا يكفى أن نفترض أن الفضاء الفارغ كان موجودا هناك منذ البداية . وعلينا أن نشرح من أين جاء الفضاء ذاته. وفكرة فضاء يخلق قد تكون بالفكرة الغريبة ، على الرغم من أنها إلى حد ما تحدث بيننا طوال الوقت. وتمدد الكون ليس شيئا سوى انتفاخ دائم للفضاء . ففى كل يوم ، تنتفخ منطقة الكون المتاحة لأجهزتنا الرصدية بحوالى 10^{18} سنة ضوئية . من أين جاء كل هذا الفضاء ؟ ويمكن لقطعة من المطاط أن تكون تشبيها مناسبا . فعندما يمط خيط مطاط يمكنك أن تحصل منه "على مزيد من الطول" . والفضاء أكثر شبها بقطعة مطاط هائلة يمكنها الاستمرار فى التمدد للأبد (على قدر علمنا) دون أن " تتمزق " .

ويشبه تمدد الفضاء والتوائه أيضا المطاط طالما كانت تخضع "حركة" الفضاء لقوانين الميكانيكا بنفس الطريقة التى تخضع لها المادة . وهذه هى قوانين الجاذبية . فكما يمكن تطبيق نظرية الكم على أنشطة المادة فإنها تطبق كذلك على الفضاء والزمن . وفى الفصول الأولى، رأينا كيف أن جاذبية الكم هى جزء لا ينفصل من البحث عن القوة العظمى ، التى تقترح إمكانية مهمة : إذا سمحت نظرية الكم لجسيمات المادة أن تنزرق إلى الوجود من مكان ما ، هل يمكنها أيضا، عندما تطبق على الجاذبية، أن تسمح للفضاء بأن يأتى للوجود من عدم ؟ وإذا كان الحال كذلك،يجب أن يكون الظهور التلقائى للكون الذى عمره 18 ألف مليون سنة سبب لهذه المفاجئة على الرغم من كل شىء؟

7 - كرة اللهب وخلق المادة :

إن مفهوم كوزمولوجيا الكم - Quantum Cosmology الذى يطبق نظرية الكم على الكون كله للفضاء والزمن والمادة- يتناوله الباحثون بصورة جادة . ومن الظاهر، تبدو كوزمولوجيا الكم عبارة تتنافى مع بعضها البعض، ففيزياء الكم تتعامل مع أصغر النظم،فى حين تعتبر الكوزمولوجيا(علم نظام الكون) هى دراسة الكون على نطاق أوسع. وعلى الرغم من هذا، فقد كان الكون فى يوم من الأيام منكمشا جدا، ولابد أنه كان هناك زمنا كانت فيه تأثيرات الكم مهمة. وتفترح الحسابات أن فيزياء الكم لا يمكن تجاهلها فى عصر النظرية الموحدة الكبرى(10^{-32}من الثانية) ، ومن المحتمل أن كانت متسيدة على كل شىء فى زمن بلانك (10^{-43}من الثانية) . وقد كان فى إحدى اللحظات بين هاتين الفترتين عندما انفجر كون الكم إلى الوجود، وفقا لأحد الباحثين مثل فيلنكين . وفى كلمات لسيدنى كولمان يقول : " نحن نصنع قفزة كمية من لا شىء فى الزمن ." يبدو أن الفضاء – الزمن ، أحفورة من هذه الفترة .

ويمكن وصف القفزة الكمية لكولمان بأنها شكل من أشكال " المرور بنفق tunnelling". وقد رأينا فى نظرية التضخم الأصلية كيف كانت حالة الخواء الزائف مطلوبة لتصل إلى حالة الخواء الحقيقى من خلال حاجز طاقة . بيد أنه فى حالة الظهور التلقائى للكون الكمى من عدم ، فإن بديهتنا تنشحذ إلى نهاية الحد. ويمثل أحد طرفى " النفق " الكون الفيزيائى الفضاء والزمن ، الذى "وصل" بواسطة النفق الكمى من لا شىء ، وكذلك يجب أن تكون النهاية الأخرى للنفق " لاشىء " ! وربما يكون من الأفضل القول أنه هناك نهاية واحدة فقط للنفق؛ والنهاية الأخرى غير موجودة .

ويرجع التحدى الأساسى الذى يواجه هذه المحاولات لتفسير أصل الكون إلى حقيقة أن الكون خلق من حالة خواء زائف . ولو أن الزمكان المخلق حديثا كان خواء حقيقيا، فلم يكن ليحدث التضخم ، ولكان الانفجار العظيم قد آل إلى نشيج ، ولكان الفضاء – الزمن قد انكمش عائدا من الوجود بعد لحظة سريعة ، ملتهما بما قد تحدثه الأنشطة الكمية فى البداية . وبدون كون الكون فى الخواء الزائف لم يكن له أن ينحبس فى نشاط ذاتى كونى ليصنع وجوده السريع الزوال بصورة متماسكة .

وربما تكون حالة الخواء الزائف مفضلة للظروف القصوى فى تلك الفترة . وعلى سبيل المثال ، فإذا خلق الكون عند درجة حرارة عالية بقدر كاف وبرد بعد ذلك ، فربما يكون بالفعل قد جدل بخواء زائف . وفى زمن الكتابة ، كانت لا تزال أسئلة فنية من هذه النوعية بلا حل .

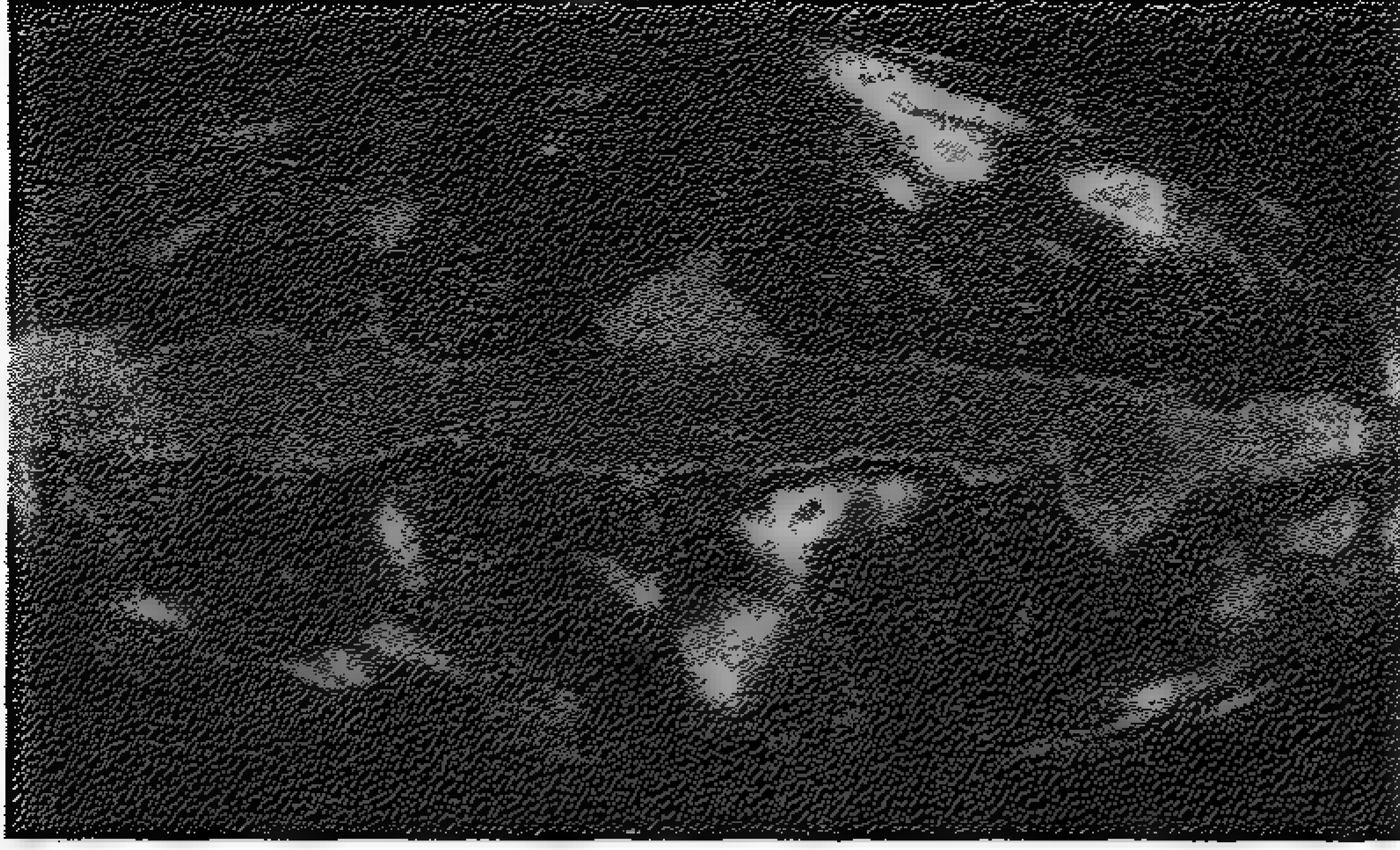
ومهما كانت حقيقة هذه الموضوعات الفكرية العميقة، فلابد وأن الكون قد جاء إلى الوجود بطريقة أو بأخرى ، وتقدم فيزياء الكم الفرع الوحيد من العلم الذى يكون فيه تصور حدث بدون سبب مفهوما . وعندما يتعلق موضع النقاش بالفضاء – الزمن فهو بأية حال بلا معنى التحدث عن سبب بالمعنى المعتاد . وتتأصل السببية فى فكرة الزمن ، ولذا فإن أية فكرة عن قوة تخلق الزمن ، أو تجعل الزمن يأتى إلى الوجود ، يجب أن تخضع لمفهوم أوسع عن السببية عما هو موجود فى الحاضر ومألوف فى العلم .

وإذا كان الفضاء فى الحقيقة عشرى الأبعاد ، فإن النظرية تقترح إذن أنه فى المراحل المبكرة جدا تتمتع الأبعاد العشرة بموقف متساوى . وهناك إمكانية جذابة هى أن " الاندماج " التلقائى – التجمع – للأبعاد السبعة يمكن أن يكون لها علاقة بظاهرة التضخم. ووفقا لهذا السيناريو فإن القوة الدافعة للتضخم يبدو أنها منتجا ثانويا للقوى التى تظهر نفسها خلال أبعاد الفضاء الأخرى. وربما لا تتطور أبعاد الفضاء العشرة حينئذ بصورة طبيعية بحيث تباشر الأبعاد الفضائية الثلاثة التضخم على حساب السبعة الأخرى، التى تتلاشى إلى لا شىء . وهكذا ، تعانى نطفة الأبعاد الفضائية العشرة لكم ميكروسكوبى من تشنج ، يضخم الأبعاد الثلاثة ليكون كونا ، ويحبس السبعة الباقية فى كون صغير دائم لا تظهر من خلاله إلا بصورة غير مباشرة ، مثل قوى الطبيعة . إنها نظرية ملفتة للنظر .

وعلى الرغم من أن معظم البحث النظرى لا يزال يجرى على فيزياء الكون القديم جدا، فمن الممكن إعطاء فكرة عامة عن الأحداث التى شكلت الكون كما نراه اليوم . وفى البداية انفجر الكون بشكل تلقائى من عدم . من خميرة بلا معالم للطاقة الكمية ، تبدأ فقاعات من الفضاء الفارغ تتضخم بمعدل سريع ، وتشحذ احتياطات ضخمة من الطاقة إلى الوجود . هذا الخواء الزائف المفعم بالطاقة المخلقة ذاتيا ، كان غير مستقرا ويبدأ فى الانحلال، وأفرغ طاقته فى صورة حرارة،ملأت كل فقاعة بكرة اللهب . وتوقف التضخم، لكن الانفجار العظيم بدأ . وكان الزمن 10^{-32} من الثانية .

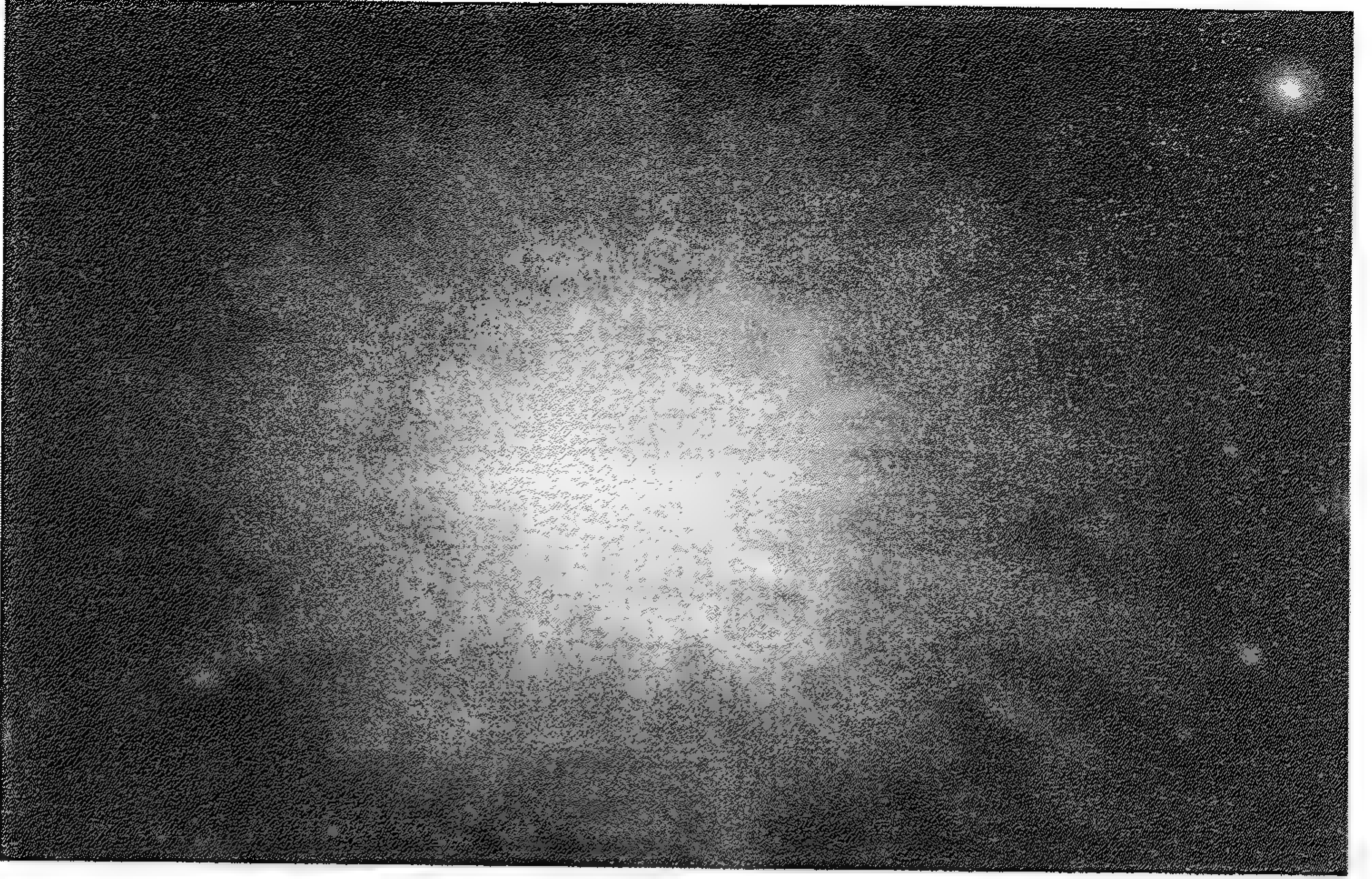
ومن كرة اللهب جاءت كل التركيبات الفيزيائية والمادية . ولما خبت كرة اللهب ، عانت المادة الكونية من سلسلة تحولات تطورية . وفى كل مرحلة من المراحل تجمد المزيد والمزيد من المادة البدائية . وخطوة تلو خطوة انفصلت قوى الطبيعة نفسها . وخطوة تلو خطوة اكتسبت الأشياء التى نسميها بالجسيمات دون الذرية اسماء من خلال وجودها ذاته . ولما أصبح حساء المادة معقدا أكثر فأكثر ، فعلى المستوى الأكبر بدأت الأشياء الشاذة الباقية من المرحلة التضخمية فى النمو فى صورة مجرات . ومع التركيب الأبعد والتخصص للمادة ، بدأ الكون يكتسب صورة يمكن التعرف عليها بشكل أكبر ، مع بلازما ساخنة تتكثف فى صورة ذرات ، مكونة نجوم وكواكب وفى النهاية الحياة . وهكذا، أصبح الكون مدركا بذاته .

المادة والطاقة والفضاء والزمن والمجالات والنظام والتركيب : تلك هى البنود فى قائمة مصنع المبدع ، المتطلبات التى لا يستغنى عنها للكون . وتحمل الفيزياء الحديثة وعد مؤرق ، قد يمكننا من أن نفسر بالعلم كيف جاءت كل هذه الأشياء إلى الوجود . ولم نعد فى حاجة إلى ندخلها بأنفسنا من البداية . ويمكننا أن نرى كيف يمكن أن تنشأ كل السمات الأساسية للعالم الفيزيائى بصورة آلية ، تماما نتيجة لقوانين الطبيعة ، دون الحاجة إلى افتراض أن الكون قد نشأ من حالة خاصة جدا فى البداية . ويقول لنا علم الكون الحديث أن الحالة الكونية الأولية لا تمت بصلة ، وكل المعلومات عنها قد دمرت أثناء المرحلة التضخمة . ويحمل الكون الذى نراه فقط بصمات العمليات الفيزيائية التى حدثت منذ بداية التضخم، ومعنى ذلك أن الكون لم يخرج أبداً من عدم ، بل هو خلق الله .

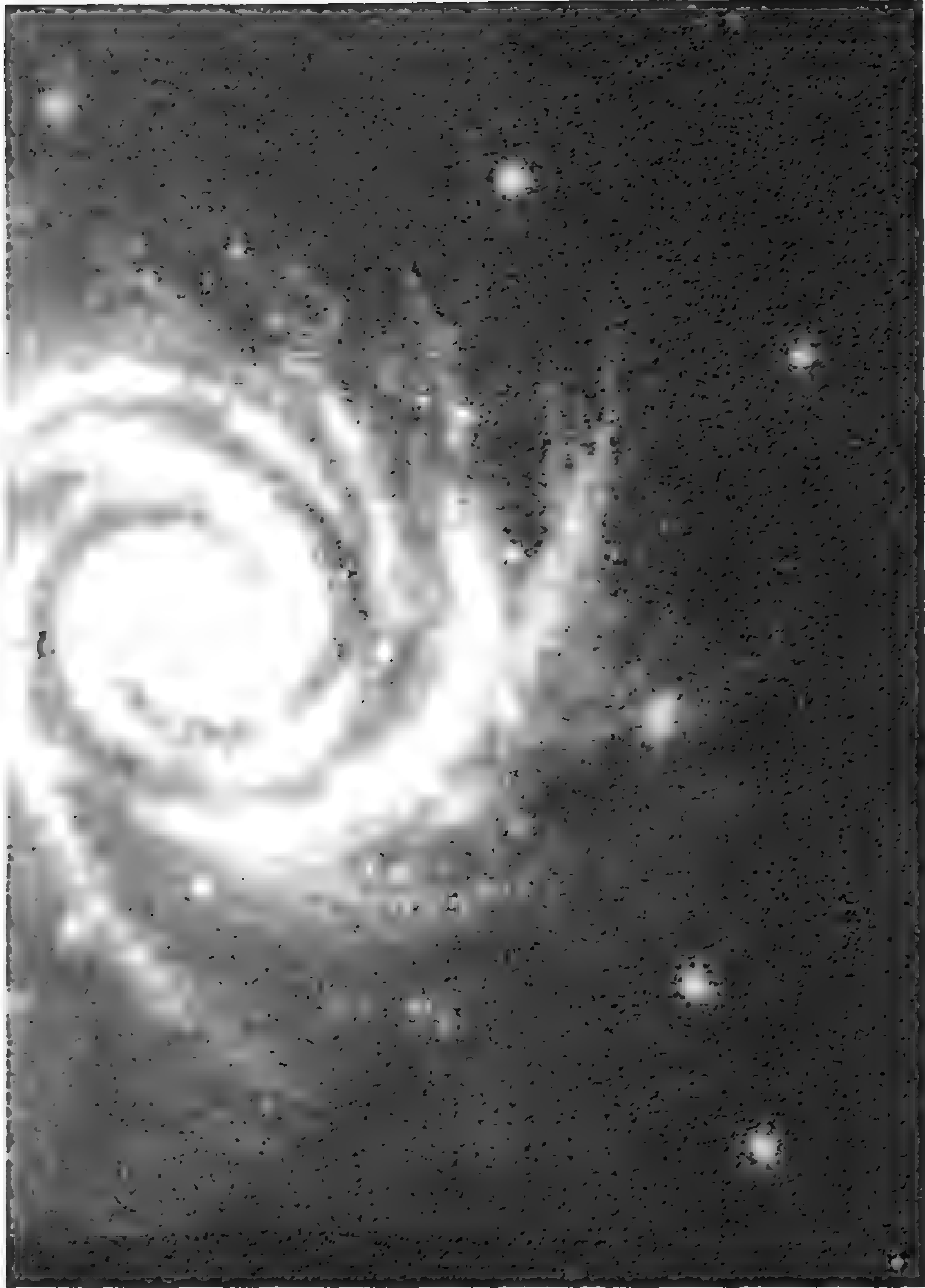


Wrinkles that corralled matter into galaxies

تجــربة التــداخــل لــيونــج . يضىء مــصــدر ضــوئى شــقين مـتـوازيتـين فى شاشة معتمة. ولا تظهر الصورة المسقطة كحزمتين من الضوء ، بل سلسلة كاملة من الحـزم الســاطعـة والداكنة، أو "أهداب مـتـداخلة". وتوضح الـتـجـربة بشكل تخطيطى الطبيعة الموجية للضوء ،غير أن معان غريبة تظهر عندما يمعـن النظر فى سمة جسيم (فوتون) الضوء.



هذا الشكل يشبه الكون المتمدد بالونة منتفخة . تمثل المجرات النقاط الموجودة على سطح البالونة ، وهى تنتشر بصورة متساوية تقريبا على السطح. وكلما انتفخت البالونة تمدد الفضاء بين "المجرات" . ومن وجهة نظر أية نقطة معينة ، فسوف تبدو كما لو كانت النقاط الأخرى تتراجع بيد أن النقاط ذاتها لا تتحرك خلال السطح. ولا يتمدد مجموع المجرات بعيدا عن أى نقطة فى الفضاء. وبطبيعة الحال، فإن السطح الثنائى الأبعاد للبالونة هو مجرد تشبيه للفضاء الثلاثى الأبعاد ؛ ففى الكون الحقيقى لا توجد منطقة مادية معينة تناظر أية نقطة داخل داخل البالون أو خارجه .



المقبض السحرى. عندما يدار المقبض تدريجيا تتغير هويات الجسيمات النووية. فعندما يوجه المؤشر لأعلى ، تكون الجسيمات ١٠٠ ٪ بروتونات (p)

ومع دوران المقبض ، تكتسب الجسيمات هوية هجين ، نصف بروتونات ونصف نيوترونات . وعندما يتجه المؤشر لأسفل ، تتحول جميع البروتونات إلى نيوترونات (n) .. وهذه العملية تخيلية تماما ، لكنها تصور تماثلا أساسيا مجردا للقوى النووية .



يتشتت إلكترونان من خلال تبادل فوتونان حاملان للقوى . مثل هذه العمليات تمثل قوة تصحيحية صغيرة للعملية السائدة المرسومة فى شكل 12 .

الفصل الثالث عشر

وحدة طبيعة الكون

1 - تحديد مفهوم الكون :

كلمة كون universe لها نفس المصدر مثل الوحدة والواحد ، وتعنى حرفيا الوحدة الكاملة للأشياء منظور إليها ككل . ومما يدعو للعجب ، فإن كلمة كلية wholly مشتقة من نفس المصدر مثل كلمة مقدس holy ، التى تعكس الصلات الميتافيزيقية والباطنية العميقة لعلم نظام الكون cosmology. وفى الواقع ، كانت دراسة الكون ككل حتى القرن العشرين قاصرة تقريبا على مجال الدين ، وعلم الكون العلمى من العلوم الحديثة جدا .

ويرجع سبب الإعجاب الخفى بعلم الكون إلى شعبيته الكبيرة بين العلماء والجمهور بوجه عام . وفى الواقع ، لا يظهر العديد من الناس اختلافا كبيرا بين علم الكون العلمى ، والتصوفية mysticism والموضوعات الخارقة للطبيعة . وعلى الرغم من هذا التشوش الذهنى ، لا اعتقد أن الاهتمام المتنامى بعلم الكون هو شئ مفيد ، فى عالم ينتصر فيه فى الغالب الانشقاق والصراع على الوحدة .

وأصبح الحديث عن " الكون " حاليا من الأمور المعتادة حتى أنه حجب ما يعتبر الأكثر لفتا للنظر من كل الحقائق الكونية ، وذلك لأن مفهوم الكون أصبح له دلالة خاصة . كيف نستطيع التعامل مع الوجود المادى ككل ؟

وهناك نقطة خلافية فلسفية عميقة تتعلق بهذا السؤال . لقد تأسس العلم على مفاهيم القوانين والاختبارات التجريبية ، وتعتبر النظرية العلمية تعليل منسجم منطقيا مع بعض سمات الطبيعة ، المتأسسة على مجموعة مبادئ متوافقة ، يفضل التعبير عنها بصورة رياضية . ويقصد بالنظرية أن تكون نموذجا لجزء من العالم ، وهى تتقدم أو تتراجع تبعا لنفعيتها . وهناك علماء آخرون من شأنهم إجراء التجارب لتحديد مدى

ملاءمة النموذج للحقيقة . فإذا أكدت هذه التجارب على نحو متكرر صحة النموذج ، تتزايد الثقة فى النظرية وتصبح جزءا من العلم الأساسى المقبول ، إلى أن يأتى الوقت الذى تظهر فيه نظرية أكثر دقة وأكثر شمولا .

ويعتمد جزء أساسى من الطريقة العلمية على تكرارية الاختبارات التجريبية . ولنأخذ مثالا بسيطا ، فقد قال جاليليو أن الأجسام تتسارع بسرعات متساوية عند سقوطها ، بحيث أنه عند إلقاء جسيمين معا فإنهما يصطدمان بالأرض معا ، حتى وإن كانت أوزانهما مختلفة . وقد قوبل هذا الإدعاء بالشك من الجميع ، لأنه ترسخ فى أذهان الناس طوال قرون عديدة العقيدة الأرسطية بأن الأشياء الثقيلة تسقط أسرع ، تلك الفكرة التى تتفق بصورة أفضل مع البديهة . وأيا كانت المعتقدات ، فمن السهل تماما اختبار اقتراح جاليليو ، من خلال إلقاء أشياء صغيرة وتبين النتيجة . وعندما تم هذا الاختبار مرات كثيرة ، اقتنع الناس بفكرة جاليليو عن نمط سقوط الأشياء .

وفى المثال الذى اخترناه ، يعتبر اختبار النظرية مسألة سهلة نظرا لتوفر كم لا نهائى من الأجسام الصغيرة التى يمكن إلقائها ، ومع ذلك فالموقف فى علم الكون مختلفا تماما . ومن حيث التعريف ، لا يوجد سوى كون واحد . وليس هناك مجال للقول بأن هناك " قانونا كونيا " ، لأن هذا القانون لا يمكن اختباره بالتجارب المتكررة على مجموعة من النظم المتشابهة . وهذا يثير السؤال المثير عن كيف يمكننا تطبيق الاستنتاج العلمى على الكون ككل .

وفى الواقع العملى ، لجأ علماء الكون إلى فكرة الاستقراء . ومن السهل الأخذ بقوانين الطبيعة التى تستنتج من التجربة والرصد على أجزاء من العالم ، دون تغيير ، وتطبيقها على الكون ككل . وعلى ذلك ، تستخدم النظرية العامة للنسبية (أفضل نموذج حالى لدينا عن الجاذبية) ، التى اختبرت أساسا بواسطة الأرصاد على نطاق المجموعة الشمسية ، على الرغم من ذلك فى حساب حركة الكون كله . وبصورة لافتة للنظر ، يبدو أن هذا الإجراء سينجح . وباستخدام القوانين التى تطبق على جزء من الكون لوصف الكون كله يبدو أنها تعطى تفسير مقنع جدا للوضع المرصود . لماذا؟

وترجعنى إجابة هذا السؤال إلى المشكلة الأصلية عن كيف يمكننا التحدث بصورة مفهومة عن " الكون " فى المقام الأول . وهناك تشبيه يتعلق بالمجتمع البشرى . فقد

يفكر رجل سياسى كما يلى : " أحب تخفيض الضرائب ، وأصدقائى يحبون تخفيض الضرائب ، والناس الذين يدلون بآرائهم فى صناديق الاقتراع يحبون تخفيض الضرائب . ونتيجة لذلك ، سترحب البلاد بتخفيض الضرائب ." والفرض هنا أن المجتمع ككل له شيء من الضمير الجماعى ، يعكس تنبوءات أفراده . وهكذا يمكن لنفس المبادئ التى تنجح مع الأفراد أن تطبق على الأشياء بشكل عام . ومع ذلك ، لا ينجح الاستنتاج إلا إذا كان المجتمع يتكون إلى حد معقول من أفراد لهم أفكار متشابهة . وبالنسبة لمسألة تخفيض الضرائب ، يكون لدى الناس شعور مماثل . وربما تصبح النتيجة مختلفة تماما إذا كان الموضوع المطروح ، ممارسات دينية ، مثلاً .

وعند تطبيق قوانين الفيزياء على الكون ككل ، نقوم بنفس نوع القفزات المنطقية كما فى حالة تخفيض الضرائب . والكون يتكون من الكثير (ربما ما لانهاية) من النظم المتشابهة أو المتطابقة . وعلى نطاق واسع ، يمكننا اعتبار الكون مجموعة من المجرات ، وعلى نطاق أصغر مجموعة من الذرات . وعلى المستوى الأعمق ، فالكون مجموعة من مجالات كمية . وحقيقة أننا خلال الكون المرصود نرى نوع الشيء ذاته ، فغالبا ما يؤخذ على أنه قضية مسلم بها . ومع ذلك ، فلا يتضح لنا سبب ضرورة وجود هذه الشمولية المدهشة .

وشمولية النظم الفيزيائية هى نقطة البداية فى علم الكون العلمى . وتكشف دراسة للسماء عن أن النجوم تشبه تماما شمسنا ، وتشبه المجرات الأخرى تماما مجرتنا درب التبانة من حيث الحجم والتركيب . ويظهر التحليل الدقيق أن هذه الأجرام البعيدة تتكون من نفس الذرات الموجودة على كوكب الأرض . ولا يمكن تمييز ذرة موجودة على الأرض عن ذرة أخرى موجودة فى الحافة البعيدة من الكون المرصود . ويبدو أن العمليات الفيزيائية التى تحدث فى المناطق الأكثر بعدا من الكون تماثل تماما العمليات التى تحدث فى منطقتنا الكونية . والأهم من ذلك ، تعتبر قوى الطبيعة قوى كونية . وعلى سبيل المثال ، يمكن الاستدلال على شدة القوة الكهرومغناطيسية فى أشباه النجوم البعيدة من خلال دراسة متأنية لأطيافها الضوئية . ولا يوجد اختلاف ملحوظ عن القوة الكهرومغناطيسية التى نرصدها فى المعمل .

وعندما توسع الفلكيون فى دراستهم لتشمل مناطق أوسع من الكون ، وجدوا بصفة عامة الكثير من نفس الشيء . لماذا يجب ألا يكون هذا واضحا على الإطلاق .

فطـــوال عدة قـرون اعـتـقـدت الـبـشـرية أن الأرض مـركـز الخلق ، فـريدة في شكلها وموقـعها . ومنذ عـصر كـوبرنيكوس ، أشـارت كل الدلائل إلي عكس ذلك ، أى ، أن الأرض ما هى إلا كوكبا نموذجيا ، في مجرة نموذجية ، تحتل منطقة نموذجية من الكون ، وأن الكون يتكون من عدد لا نهائى من الأشياء المتشابهة تقريبا .

صـاغ العلمـاء هذه الأفكار في شيء يطلق عليه " المبدأ الكونى " cosmological principle ، الذى ينص على أن منطقتنا المحلية من الكون تعتبر نموذج مطابق للكل . ولا ينطبق هذا على الذرات والنجوم والمجرات فحسب ، بل ينطبق أيضا على التنظيم والتوزيع العام لكل من الطاقة والمادة . والكون منتظم بشكل فريد ، من حيث انتشار المجرات بكل تفاصيلها فى الفضاء ، وفى اتجاهها من حولنا . وعلى قدر ما يمكننا أن نرى ، لا توجد أمـاكن أو اتجـاهات مـتـمـيـزة فى الكون . وعـلاوة على ذلك ، فـهـذه الانتظامـية ثابتة مـع الزمن كلمـا تمدد الكون؛ فـمـعـدل التـمـدد مـتمـاثل فى كل أرجـاء الفضـاء وفى كل الاتجاهات . وفى الواقع ، يصـعب تصور كون أكثر بساطة فى شكله أن يكون متوافقا مع وجود الراصدين الأحياء . وفى الفصول السابقة ، وجدنا سببا مقنعا تماما لهذا التعاون الكونى على نطاق واسع فيما يسمى بالنظرية التضخمية للكون inflationary theory of the universe .

والوصف العلمى الدقيق يعـتـبر ، نتـيـجـة لذلك ، نموذج للانتظـامـيـة والتـمـاسك والبساطة على نطاق واسع . ولو كان الكون يتمدد بمعدلات مختلفة شديدة التباين فى اتجاهات مختلفة ، أو كانت كثافته وترتيب مـادته تنطويان على اختلافات كبيرة ، فلا نتصور أن يكون هناك موضوع علم كون علمى على الإطلاق . (وفى الواقع ، لا يحتمل أن يكون هناك علمـاء أيضا .) إنهـا الانتظامـيـة ، والتمـاسك والبسـاطة التى جعلتنا نتـحدث عن "الكون" على أنه كيان واحد . وحـتى فـترة قريبة جدا ، كان منشـأ هذه الصـفات غامـضـا . ويمكننا أن نرى الآن أن تعليمات بنـاء كون منتظم ومتمـاسك تم صياغتها فى قوانين الفيزياء . وتحتوى القوة العظمى السمات المناسبة تماما للهيمنة على الكون المبكر وتنظيمه فى تركيب موحد بالبساطة المنتشرة التى نرصدها حاليا .

2 - البحث فى حركة الكون :

على الرغم من إن بإمكاننا أن ندرك وحدة الشكل القوية المنتشرة فى الكون ، إلا أن هناك رغبة قوية فى البحث عن وحدة كونية عميقة ، تلك الوحدة التى تنسج منطقتنا

المحلية مع الوحدة الكاملة الكبرى بإحدى الطرق الأساسية . فربط الكبير بالصغير ، والعالمى بالمحلى له جاذبية قوية ، لأنه يجعلنا نشعر أننا على وفاق مع كل الخلق ، هو هدف خفى موجود فى معظم أديان العالم . ومن غير شك ، يشعر أغلب الناس بأنهم مرتبطين روحيا بكلية الأشياء ، لكنه هناك أيضا اعتقاد مماثل فى العلم لصهر هذه الروابط .

والجدل العلمى القديم عن وجود علاقة قوية بين بنية الكون بشكل عام والفيزياء المحلية ، قد عبر عنه بوضوح ودقة الفيزيائى والفيلسوف النمساوى أرنست ماخ 1Ernst Mach(1838-1916) [1] ، الذى كتب له أيضا الخلود باستخدام " أعداد ماخ " Mach numbers كوحدة لسرعة الصوت . وعلى الرغم من اعتناق ماخ لبعض الأفكار الخاطئة(لم يكن يعتقد فى الذرات) ، إلا أن بحثه فى طبيعة القصور الذاتى الذى أنعم عليه فيما بعد بلقب مبدأ ماخ ، ثبت أنه واحدا من أهم التأملات التى دامت فترة طويلة . ومما لا شك فيه ، فقد كانت لأفكار ماخ تأثير عميق على أينشتاين الشاب عند محاولاته لصياغة النظرية العامة للنسبية . واعترف أينشتاين صراحة بالفضل الواجب عليه لماخ فى رسالة كتبها فى يونيو عام 1931 ، بعد نشر ماخ كتابه عنه علم الميكانيكا The Science of Mechanics فى السنة السابقة .

ولد ماخ فى مدينة توراس فيما يسمى حاليا بتشكوسلوفاكيا ، وشغل منصب الأستاذية لكل من الرياضيات والفيزياء فى جامعة جراز قبل انتقاله إلى براج ، وبعد ذلك إلى فيينا كأستاذ للفلسفة ، حيث اعتنق الفلسفة الوضعية [2] . واعتقد ماخ أن الحقيقة يجب أن تنبع من الأرصاد ، وقد أسهمت وجهة نظره هذه فى أفكاره الكونية .

كان ماخ مهتما بدرجة كبيرة بطبيعة الحركة ، واهتم ،على وجه الخصوص ، بالتمييز الذى وضعه بين الحركة الحقيقية والظاهرية . اعتقد أجدادنا أن السماوات تدور حول الأرض ، وأن الأرض ثابتة فى مركز الكون ، وأن الشمس والقمر والنجوم تتحرك فى مسارات منحنية . وقد كان اعتقاد طبيعى على الوجه الصحيح ، لأنه يمكن رؤية الأجرام السماوية وهى تتحرك عبر السماء . بيد أنه بحلول القرن السابع عشر ، حدث تشكيك فى هذه الأفكار ، وكان ينظر إلى حركة الأجرام السماوية على أنها حركة ظاهرية فقط . وفى الحقيقة ، كانت الأرض هى التى تدور .

كيف نثبت لشخص من طبيعته الشك أن دوران النجوم ما هو إلا دوراناً ظاهرياً ، وأن الأرض هى التى تدور حول محورها ؟ وقد تكون أفضل وسيلة هى اللجوء إلى علم الديناميكا لنيوتن . يعانى دوران الأرض من تأثيرات طردية ، تجعلها تنبعج عند خط الاستواء . وأظهرت القياسات الدقيقة لهندسة الأرض أنها منبعجة بمقدار ٤٢ كيلومترا عند خط الاستواء عن الانبعاج الحادث من قطب إلى قطب آخر . ويمكن تبين أن الدوران هو المسبب للانبعاج الاستوائى بسبب وجود القصور الذاتى .

والقصور الذاتى Inertia من خواص المادة المعروف لنا جميعا ، فالأجسام الثقيلة لها قصور ذاتى كبير ، ويعنى أنها تتحرك بصعوبة ، ولكن بمجرد أن تتحرك فإنه يصعب إيقافها . ويمكن للأجسام الخفيفة أن تتحرك جيئة وذهابا بسهولة . والقصور الذاتى للأرض هو الذى يجعلها تندفع بعنف وبسرعة خلال الفضاء . ولولا هذا القصور الذاتى لكانت الأرض توقفت فى مدارها وسقطت على الشمس . ويسقطك القصور الذاتى من مقعدك عندما تتوقف السيارة بشكل مفاجئ ، ويجعلك تشعر بتقلب المعدة عند هبوط المصعد بصورة مفاجئة . فقصورك الذاتى هو الذى يحاول القذف بك أثناء دوران الأرجوحة ، أو يلصقك بجدار نابذ لفاف . ويطلق القصور الذاتى العنان للحدافة التى تدور بسرعة كبيرة جدا ، وأحيانا يطلق على ذلك الميل للمادة لأن تنقذف من أجسام دوارة – بقوة الطرد المركزى - centrifugal force وهى المسئولة عن انبعاج الحزام الاستوائى للأرض .

كيف يمكننا أن ننسب قوة القصور الذاتى إلى قوى الطبيعة الأخرى؟ وهذا لغز يرجع إلى نيوتن نفسه ، وإلى أول وصف منظم له عن قوانين الحركة . وكانت السمة الأساسية فى أعمال نيوتن هى إدراكه أن الحركة المنتظمة–الحركة بسرعة ثابتة–هى حركة نسبيا تماما . تخيل أنك محاط بصندوق معتم فى غياهب الفضاء ، ولا توجد وسيلة تمكنك من التعرف إن كان الصندوق فى وضع مستقر ، أو يتحرك بصورة منتظمة . وهذه الحالة تشبه تقريبا الحالة على متن طائرة تطير طيرانا مستويا . فإدراكنا بالقوة والحركة فى الطائرة لا يمكن تبينها من الحركة فى غرفة على الأرض . والحركة المنتظمة تؤثر بأية حال على كيفية تصرف الأشياء داخل الطائرة: المشى والأكل والتنفس وكل الأنشطة الأخرى تظهر عادية .

لماذا إذن نقول أن الطائرة تتحرك؟ صحيح ، إذا نظرنا من النافذة يمكننا أن نرى الأرض تجرى من تحتنا ، ولكن ما نعنيه بالحركة حقيقة هنا هو أن الطائرة تتحرك بالنسبة للأرض . والأرض ، بطبيعة الحال ، فى وضع سكون . فالأرض تتخذ لها مدار حول الشمس (ونحن لا نشعر بهذا أيضا) ، والشمس تدور حول المجرة .

والاعتبار المهم هنا هو أن الفضاء ذاته ليس له معالم ، ولذا فمن المستحيل تقدير حركتنا خلال الفضاء بحكم كونه ، فكل منطقة من مناطق الفضاء تشبه تماما المنطقة الأخرى . وليس هناك من سبيل فى أن تستطيع أن ترى أو تشعر بالفضاء "يندفع للأمام" مثلما تستطيع سمكة السباحة فى المحيط . وليس هناك هواء مزاح" يساعدنا على قياس سرعتنا . وكوننا فى وضع سكون فى الفضاء ليست له دلالة رصدية على الإطلاق ، تلك الحقيقة التى قدرها نيوتن حق قدرها: " ربما لا يكون هناك جسم فى الحقيقة فى موضع سكون يمكن أن تنسب إليه أماكن وحركات الأجسام الأخرى . "

ونسبية الحركة المنتظمة متضمنة فى قوانين الميكانيكا لنيوتن ، التى تنص على أنه لا توجد قوة أو واسطة فيزيائية مطلوبة للحفاظ على الحركة المنتظمة . وعلى النقيض ، فأى جسم يستمر فى الحركة بانتظام إن لم يعترضه شىء يغير من حالته . وفى غياب القوى الخارجية يواصل الجسم تقدمه للأمام بسبب قصوره الذاتى .

وعلى الأرض ، يصعب تماما التخلص من التأثير المعوق للقوى ، فالقرص المطاطى (المستخدم فى لعبة هوكى الجليد) المدفوع على سطح الجليد يكون قريبا من الحركة الحرة . والقصور الذاتى للقرص المطاطى يجعله يحتفظ بحركته بسرعة غير متلاشية بصورة معقولة ، دون الحاجة إلى قوة دافعة ، بمجرد أن يخبط . وفى المقابل ، يواجه أوتومبيل احتكاكا كبيرا ومقاومة من الهواء لدرجة أن هذه القوى سرعان ما تتغلب على قصوره الذاتى . ويصل الأوتومبيل إلى وضع السكون بعد فترة قصيرة من الحركة ، بمجرد توقف حركة الموتور .

وفى مقابل نسبية الحركة المنتظمة ، فللحركة المتسارعة أو غير المنتظمة طبيعة مختلفة تماما . فإذا ما انحدرت الطائرة أو هوت ، أو ازدادت قوتها ، فسرعان ما يدرك المسافرون فى الحال بالتمزق من جراء الطريقة التى يتبعثرون بها . وحتى فى داخل صندوق معتم فى الفضاء ، فإنه يمكن إدراك الحركة المتسارعة فى الحال .

كيف يمكننا التعرف على الحركة المتسارعة بسهولة جدا ؟ المدخل لها هو القصور الذاتى ، فالأجسام التى تتعرض للتسارع تقاوم بطريقة ملحوظة . والدوران هو حالة خاصة من الحركة المتسارعة أو غير المنتظمة . وإذا بدأ الصندوق المعتم فى الدوران ، فسوف تشعر بأنك انضغطت على جدرانه عندما حاول جسمك اتباع مسار مستقيم وأجبرك الصندوق اللفاف على اتخاذ مسار منحنى . ويبدو أن هذا يوحى بأنه فى حين أن الحركة المنتظمة نسبية بالنسبة للأجسام الأخرى ، فإن الحركة المتسارعة حركة مطلقة .

لم يستطع بعض العلماء والفلاسفة تقبل هذه النتيجة . كتب الفيلسوف الأيرلندى القس جورج باركلى[3] George Berkeley المعاصر تقريبا لزمن نيوتن: " اعتقد أننا قد نجد كل الحركة المطلقة التى نصيغ منها فكرة ، لا تختلف فى الأساس عن حركة نسبية " . وكان برهان باركلى هو أنه ، بما أن الفضاء بلا سمات فلا يمكننا تصور أى شكل من أشكال الحركة خلال الفضاء بحكم كونه . وبدون الرجوع إلى أجسام مادية أخرى لا يمكننا أن نفهم الفكرة :

" يكفى أن نستبدل " فضاء مطلق " بفضاء نسبى يتحدد بواسطة سماء النجوم الثابتة . . . والحركة والسكون التى يحددها هذا الفضاء النسبى يمكن أن تستخدم بصورة ملائمة بدلا من المطلقات" .

ويدخل باركلى هنا عاملا أساسيا ومهما ، " النجوم الثابتة " . واليوم نعرف أن النجوم ليست ثابتة بالفعل ، لكنها تتحرك حول المجرة . وعلى الرغم من هذا ، فلا يمكن إدراك هذه الحركة بسهولة لأن النجوم بعيدة جدا . والاقتراح المهم الذى وضعه باركلى هو أن المادة البعيدة جدا فى الكون تعمل بطريقة أو بأخرى كإطار قياسى أو مرجعى يمكننا أن نقرر إذائه كل الحركة .

ويكمن وراء هذا الجدل عن الحركة الخلاف الكامل عن طبيعة الفضاء والتمييز بين الفضاء والعدم . وأعلن أرسطو أن " الطبيعة تمقت الخواء " ، ويرهن على أن الفراغ عدم ، ونتيجة لذلك لا يمكن أن يوجد . ولا يمكن تصور الفضاء الظاهرى بين الأجسام إلا بافتراض أنه مملوء بصورة مستمرة بالمادة أو بالأثير أو بأى شىء آخر .

والاعتقاد المماثل للخواء – فضاء فارغ موجود بطبيعته – جذب أيضا مناصريه . وكان من بين هؤلاء نيوتن ، الذى درس ما اسماه" الفضاء المطلق ..Absolute space . دون

علاقة بأى شئ خارجى" . وكان فضاء نيوتن المطلق مسار سخرية من منافسه ، جوتفريد لايبنتز(4) Gottfried Leibniz ، الذى أعلن ، " لا يوجد فضاء طالما لا توجد مادة ."

وتخرج الفيزياء الحديثة من هذا الجدل القديم باستبدال الفضاء بخواء كمى quantum vacuum يعطى نوع من النسيج لما هو خواء بصورة ظاهرية . مع أن الخواء الكمى ، بمرحه بالجسيمات التقديرية ، يعتبر بون شاسع عن السائل المستمر الذى تصوره أرسطو .

اعتقد نيوتن أن بإمكانه البرهنة على وجود الفضاء المطلق بطريقة علمية ، بالإشارة إلى تأثيرات القصور الذاتى ، فالانبعاج الإستوائى للأرض الدوارة يوضح أن الأرض هى التى تدور وليست النجوم . وأعلن نيوتن أن دوران الأرض ليس مجرد دورانا نسبيا بالنسبة للنجوم لكنه دوران مطلق ، فالأرض تدور بالفعل فى فضاء مطلق .

كان هذا هو الإصرار الأخير الذى تحداه باركلى ، عندما قال أنه لو كان الفضاء فارغا من كل الأجسام إلا واحدا ، فإن مفهوم الحركة–سواء كانت منتظمة أم غير ذلك– سيكون بلا معنى . كتب باركلى :" لو كانت الكرة الأرضية موجودة بمفردها فلا يمكن أن ندرك منها الحركة . " وينبغى ألا نكون قادرين على تحديد ما إذا كانت تدور أم لا . ومضى باركلى يقول : " دعنا نتصور وجود كرتان أرضيتان ولا يوجد بجوارهما شىء مادى ." فى هذه الظروف يمكننا أن نفهم الحركة النسبية للكرتين الأرضيتين نحو أو بعيدا عن إحداهما الأخرى ، لكن " لا يمكن أن نتصور بالخيال الحركة الدائرية للكرتين الأرضيتين حول مركز مشترك " . ومن ناحية أخرى ، " دعنا نفترض أن السماء المرصعة بالنجوم الثابتة قد خلقت؛ فجأة من تصور طريقة الكرتين الأرضيتين إلى الأجزاء المختلفة من السماء يمكن تصور الحركة الدورانية . "

وعلى الرغم من نجاح ميكانيكا نيوتن ، إلا أن أراء باركلى ظلت باقية وقد سمع صداها بعد قرنين من ماخ ، الذى رفض أن يضع تمييزا أساسيا بين الحركة النسبية المنتظمة وغير المنتظمة ، معلنا أن " الحركات المتسارعة والمنتظمة تؤدى إلى نفس الطريقة" . ولكن كيف وفق ماخ اعتقاده بأن حتى الحركات المتسارعة مثل الدوران هى حركات نسبية تماما ، مع وجود القوى المنتظمة ، مثل التأثيرات الطاردة ، التى تجعل جسم

دوار ينبعج عند خط الإستواء؟ وعلى الرغم من كل شيء ، فقد وضع نيوتن تحد واضح لهؤلاء الذين شككوا في وجود الحركة المطلقة : " القوى الطاردة هي التأثيرات التي تميز الحركة المطلقة عن الحركة النسبية . . . لأنه في الحركة الدائرية التي تعتبر نسبية تماما ، لا توجد تلك القوى " .

والتفكير الذى تبناه ماخ ليقابل هذا التحدى هو تفكير مباشر بشكل جرئ . وأثبت ماخ ، إذا كان الدوران نسبيا فحسب بالنسبة للنجوم "الثابتة"، يجب أن تكون القوى النابذة التي تؤثر حينئذ على جسم دوار بسبب النجوم . وافتراض ماخ لم يصل إلى شيء سوى الإدعاء بأن القصور الذاتي له أصل في الأعماق البعيدة من الكون . وإذا كان هذا التفسير لمصدر القصور الذاتي مقبولا ، فيمكن أن ينبذ الفضاء المطلق لنيوتن ، وتعامل كل الحركات على أنها حركات نسبية . إنه صورة من صور الجدل تعرف حاليا بمبدأ ماخ ، وقد كان له تأثير غريب على عدة أجيال من الفيزيائيين .

هل يمكن جعل مبدأ ماخ ينجح ؟ المشكلة الأولى هي تفسير طبيعة الارتباط الذى يمكن النجوم المترامية الأطراف أن تضفى تأثيرات القصور الذاتي على جسم على سطح الأرض ،أو في أى مكان آخر في الكون . ونأتي بمفتاح اللغز من حقيقة أن القوة النابذة تبدو مثل قوة جاذبية تماما . وإحدى الخطط لمحطة فضاء مستقبلية هي تركيب على هيئة عجلة مصمم على أن يدور حول محوره بالسرعة الصحيحة ليحاكى " g " عند حدها الخارجي . وهذا مبنى على فكرة " الجاذبية الصناعية artificial gravity ". والتشابه الوثيق بين القوى النابذة والجاذبية كان مفهوم تماما لكل من جاليليو وأينشتين . وحقا ، فإنه مبدأ مؤسس من النظرية العامة للنسبية ، والتي بصورة محلية تكون القوتان متطابقتان . ونتيجة لذلك ، فمن الطبيعي النظر إلى مجال جاذبية الكون لتفسير قوة الجاذبية وقوة القصور الذاتي الأخرى .

كيف يمكن أن تسبب جاذبية النجوم قوى قصور ذاتي ؟ والفكرة المحتملة قد تكون بفرض أن جسما دوارا يرسل بعض صور التأثير الجذبي الذى تتلقاه النجوم . والنجوم مضطربة بعض الشيء ، ومن ثم تولد تأثيرها الجذبي الذى يؤثر على الجسم الدوار . ويحدث رد الفعل ما نطلق عليه بقوة جاذبية ، غير أن هذه القوة هي بالفعل تأثير جذبي من مصدر كوني . وعلى نحو لا يمكن إنكاره ، فإسهام أى نجم معين في القوة النابذة يجب أن يكون إسهاما صغيرا جدا بسبب المسافات البعيدة المتضمنة ،

لكن عدد النجوم من الكثرة بحيث لا يزال التأثير التراكمى تأثيرا كبيرا . إنه حدس ساحر . ففى كل مرة " تلتوى معدتك " ، فإن المجرات البعيدة ، التى تبعد آلاف الملايين من السنوات الضوئية ، تجذبك نحوها !

والمشكلة مع التصور البسيط المطروح سابقا هى أنه تبعا لنظرية النسبية ، لا يمكن أن ينتقل الاضطراب الجذبى بصورة أسرع من الضوء . فحتى عند سرعة الضوء فقد يتطلب "صدى" الجاذبية لجسم دوار ملايين عديدة من السنوات لأن يعود . لكننا نعرف أن التأثيرات النابذة تحدث بصورة تلقائية ، بمجرد أن يبدأ جسم فى الدوران .

اعتقد آينشتاين أنه اكتشف طريقة للتغلب على مشكلة تباطؤ الزمن من خلال صياغة مبدأ ماخ كجزأ من أبحاثه الكونية . وبصورة غريبة ، لم يستطع أن يجعل المخطط ينجح إلا إذا كان الكون منحنيا . وليس فقط منحنيا ، ولكن بنوع من التكور يجعله مغلقا فضائيا(كرة مفرطة) . والفضاء اللانهائى غير المرتبط لا يكون منحنيا . وهناك حدث جدل طويل ، استمر حتى هذا اليوم ، حيث أنه لأى مدى تتحد النظرية العامة للنسبية أو لا تتحد مع مبدأ ماخ .

وفى عام 1949 ، اكتشف الرياضى والمنطقى كيرت جودل Kurt Godel حلا لمعادلات المجال الجذبى لآينشتاين ، التى تصف بالفعل كون دوار . ولم يقصد بنموذج جودل بالضرورة أن يمثل كون حقيقى ،لكنه على الرغم من ذلك ،إمكانية منطقية فى نظرية آينشتاين . ووفقا لمبدأ ماخ ، فالكون الدوار هو تصور مستحيل .

ومن ناحية أخرى ، فإن بعض التى تنبأت بها النسبية العامة لها نكهة من آراء ماخ بصورة مميزة . أحد هذه التأثيرات ذكرها آينشتين فى خطابه إلى ماخ . افترض أننا قبلنا أن قوى القصور الذاتى على جسم هى بسبب تأثير جاذبية كل المادة الأخرى فى الكون . وسينشأ التأثير المهمين بشكل واضح من المادة عند مسافة كبيرة ، لأن معظمها يقع فى هذا المكان . وعلى الرغم من ذلك ، فلابد أنها لا تزال تولد تأثير ضئيل . ودعا آينشتين ماخ ليفكر فى جسم مغلف داخل غلاف ثقيل من المادة ، حيث يجعل الغلاف دائرا بالنسبة للنجوم الثابتة . وإذا كانت أفكار ماخ صحيحة ، فإن الإطار المرجعى الصحيح الذى تقاس فى مقابله حركة جسم محجوز هو بعض المتوسط المصاحب لكل المادة الأخرى الموجودة فى الكون ، وعند أخذ هذا المتوسط فلا يمكن

استبعاد الغلاف الكروى ، وإن إسهامه فى الإطار المرجعى الكونى الكلى سيكون من المؤكد صغيرا جدا ، لكنه لن يصبح صفرا . ويمكن حساب قيمته من النظرية . ويظهر الحساب ، كما توقع ماخ ، إن دوران الغلاف يولد بالفعل قوة قصور ذاتى ضئيلة . وتؤثر هذه القوة على الجسم داخل الغلاف وتحاول جعله يدور بالاشتراك مع الآخرين .

وبصورة ملحوظة ، يمكن رصد هذه التأثيرات بالفعل . اعتبر ،على سبيل المثال ، تجارب جيروسكوب gyroscope فى مدار حول الأرض . تتأثر حركة الجيروسكوب بالتواء فضاء الأرض ، وعندما تدور الأرض فإنها "تلوى " التواء الفضاء . وهذا له تأثير إحناء الجيروسكوب أيضا . والتأثير صغير جدا–فقد يتطلب الجيروسكوب ملايين السنوات لكى ينحنى مرة واحدة – لكنه على الرغم من هذا من المحتمل أن يمكنه الكشف عن حركة الالتواء بواسطة التكنولوجيا الحالية بوضع الجيروسكوب داخل غلاف محمي للتخلص من الاضطرابات الأخرى غير الجاذبية ، مثل الرياح الشمسية . وقد خطط لمشروع من هذا النوع من سنوات عديدة البروفسور وليام فيربانكWilliam Fairbank من جامعة ستانفورد ، وهو نفس الرجل الذى ذكر فى الفصل الثامن فيما يتعلق بتجربة الكواركات الحرة .

وفى الأجسام الأكثر ضخامة فإن تأثير "السحب" لفضاء ملتو دوار يمكن أن يصبح تأثيرا واضحا . والحالة البالغة القصوى هى حالة ثقب أسود دوار ،حيث يمكن سحب جرم قريب فى كل اتجاه بصورة عنيفة لدرجة أنه لا توجد قوة فى الكون تستطيع إيقافه . ويمكن إرجاع هذا التأثير المثير أحيانا فى المأثور الشعبى إلى "دوامة فضائية" محيطة بالثقب .

ومن المحتمل ألا يمكن إثبات مبدأ ماخ بالتجربة . كيف يمكننا أن نعرف ما إذا كانت أرض دوارة ستنبعج فى فضاء فارغ مختلف عندما لا توجد وسيلة تمكننا أن نزيل بها الكون لنكتشف ؟ ومن ناحية أخرى ، فمن الممكن تصور تجربة يمكن بواسطتها نقض المبدأ . ولو تحدد من خلال قياسات دقيقة جدا ،أن الكون كله يدور بمعنى مطلق ، فإن مبدأ ماخ سيشكك فى صحته .

والدوران الكونى المطلق سيختار محورا مفضلا فى الفضاء ،وقد يمكننا توقع هذا الاتجاه المتميز ، لأن يظهر نفسه فى ترتيبة المادة والطاقة فى الكون . ويعرف إشعاع الحرارة الكونية بأنه منتظم فى جميع الاتجاهات بنسبة جزء من عشرة آلاف على

الأقل ، حيث يمكن من خلاله وضع حد صارم على دوران كونى يمكن أن يوجد . وفى الواقع ، يمكن إظهار أن الكون لا يمكنه الدوران بأكثر من بضع درجات فى تاريخه كله . وهكذا ، فلدرجة دقة عالية على الأقل ، يبدو أن حركة الكون متوافقة مع مبدأ ماخ .

3 - الزمن بين الماضى والمستقبل :

منذ بضع سنوات مضت ، جلست أقرأ قصة هروب الزمن Timescape لجورجى بنفورد Gregory Benford. وتخيل مفاجأتى عندما قابلت بالصدفة شخصية تدعى بول ديفيز ، فيزيائى له اهتمام عاطفى بالزمن ، الذى أعلن بالحجة أنه فى الإمكان إرسال إشارات إلى الماضى . وقد أخذت بنصيحته فى حينها ، وشرع بطل القصة فى محاولة الاتصال بعالم من الجيل السابق من أجل إنقاذ العالم من كارثة .

وكان القالب الخيالى القصصى غير متوقع بسبب الاهتمام الطويل المدى لى بطبيعة الزمن . فقد أصبحت أولا مفتونا بفكرة إرسال إشارات للماضى بعد الاستماع لمحاضرة فريد هويل Fred Hoyle التى ألقاها فى الجمعية الملكية فى لندن عندما كنت طالبا . وأشار هويل إلى أن معادلات المجال الكهرومغناطيسى الشهيرة لماكسويل ، التى تصف انتشار الموجات الكهرومغناطيسية ، تتضمن بالفعل إمكانية انتقال موجات كهذه للوراء فى الزمن .

ويمكن فهم هذه النتيجة المروعة من خلال التشبيه بموجات الماء العادية . فإذا ألقيت بحجر فى بركة ساكنة ، فستنتقل الموجات الناشئة للخارج من نقطة الاضطراب ، وتتلاشى عند حافة البركة . ومن السهل صنع مثل هذه الأنماط الموجية الراحلة . ومن ناحية أخرى ، لم نصادف أبدا أنماط موجية منظمة تظهر عند حواف بركة وتتجمع عند نقطة . ومع ذلك ، فإن العمليات الفيزيائية التى تتحكم فى الموجات هى عمليات لا يمكن إرجاعها بصورة صحيحة . وكل جزء من الموجة يمكن جعله يجرى للوراء . وعلى الرغم من هذا ، فإن نوع الموجات الراحلة outgoing waves لا ينتج إلا بصورة تلقائية فى الطبيعة . صحيح ، فقد يمكن للمرء أن يولد موجات متجمعة بطريقة اصطناعية– ولنقل بإلقاء حلقة أفقيا على سطح البركة – لكن ذلك يصعب إجراؤه عن إنتاج الموجات الراحلة . لماذا؟

تنسحب الطبيعة وحيدة الاتجاه للاضطرابات الموجية على كل أنواع الحركة الموجية وتطبع على كوننا "سهم الزمن " arrow of time ، أى ،تمييز بين الماضى والمستقبل . ولو أمكنك تصوير الموجات الناشئة على بركة ومشاهدة الفيلم بصورة عكسية ، فسيكون الخداع واضحا بصورة مباشرة . وفى حالة موجات كهرومغناطيسية ، مثل موجات الراديو ، فإن فكرة نمط متماسك من الموجات المتجمعة فى مكان واحد يبدو منافيا للعقل . وبما أن موجات الراديو يمكنها الانتشار فى أطراف الكون ، فإن الطريقة الوحيدة التى يمكن بها إنتاج نمط متجمع تكون عن طريق بعض الخداع الكونى الهائل الذى تدخل فيه الموجات من فضاء لا متناه فى كل الاتجاهات ، على وفاق بالضبط .

وبسبب العلاقة ما بين الحركة الموجية وسهم الزمن ، يمكننا النظر إلى الموجات الراحلة على أنها موجات تنتقل إلى المستقبل بالأسلوب المعتاد ، لكننا ننظر إلى الموجات الداخلة أو المتجمعة على أنها زمن معكوس ، أى ، تنتقل إلى الماضى . وتسمى الموجات الأولى بالموجات "المتأخرة " retarded waves ، لأنها تصل بعد إرسالها ، فى حين تعرف الأخيرة بالموجات "المتقدمة " advanced waves ،لأنها تصل قبل إرسالها . ومنذ زمن ماكسويل ، اعتقد أن الموجات الكهرومغناطيسية المتقدمة موجات ممكنة- فهى تسمح بها النظرية بصورة منطقية – لكنها سخيفة من الناحية الفيزيائية مثل انتقال الزمن ، ويجب استبعادها .

كان معظم العلماء سعداء تماما برفضهم الموجات المتقدمة لأنها بغير ذى صلة ، دون أن يسألوا لماذا بدأ الكون فى استبعادها بصورة كاملة . وكان من الاستثناءات الملحوظة جون ويلر John Wheeler وريتشارد فينمان Richard Feynman ، ففى نهاية الحرب العالمية الثانية قاما بنشر بحثا مثيرا حاولا أن يوضحا السبب لماذا تعتبر الموجات الكهرومغناطيسية المتأخرة هى النموذج ، واستكشافا إمكانية وجود الموجات المتقدمة(موجات من المستقبل) . وكان ويلر فى ذلك الحين فيزيائى نووى ،عمل مع نيلس بور Neils Bohr [5] وأنريكو فيرمى Enrico Fermi [6] فى الانشطار ، بينما كان فينمان طالبا اشترك بعد ذلك بفترة قصيرة فى صياغة الكهروديناميكا الكمية وفاز بجائزة نوبل .

وقرر ويلر وفينمان أن يبحثا ما قد يحدث فى عالم توجد فيه موجات متقدمة ومتأخرة على قدم المساواة . وفى كون افتراضى كهذا سيرسل مرسل لاسلكى إشارات

إلى الماضى والمستقبل بصورة متساوية . وقد يعتقد أن هذه الظروف ستكون مقيدة لتؤدى إلى نتائج تافهة ، لكنه فى مناقشـة ملحـوظة أوضـح فيـنمان وهويلر أن ذلك لا يجب أن يكون كذلك .

فكر فى مـصير مـوجات متـقدمة مـزعجة للمشاكل ، تغادر المرسل وتنتـقل إلى الفضـاء بصورة عكسـية فى الزمن . وفى النهاية سوف تقابل هذه الموجـات مـادة فى صـورة جسـيمـات مشحـونة بشحنة كـهربية ، ربما غـاز غير كـثيف فى فضـاء بين المجرات . وسوف تتحرك الموجات هذه الشحنات وتكون النتيجة أن تولد أيضا موجات ثانوية ذات تردد مماثل ، تكون طبيعتها أيضا أن نصفها موجات متأخرة ونصفها موجات متقـدمة . ومـن ثم سوف ينتقل الجزء المتأخر من هذه الموجات الثانوية للأمام فى الزمن ، وبذلك يخلق صدى ضعيف فى المرسل فى لحظة الإرسـال الأصلى . وبذلك نحـصل على شبكة مـعقـدة من الاضطرابات والأصـــداء المتـلاطمـة ذهبـا وأيابا حـول الكون ، وكلاهما نحو المستقبل ونحو الماضى .

وعلى الرغم من أن صدى أى جسيم مشحون فردى يعتبر صـدى صـغير بدرجة لا يمكن تصـورها بسـبب بعـده الشـاسع عن المرسل ، فلو كـان بالكون العـديد من الجسيمات بحيث أصبح حاجبا تماما للإشعاع الكهرومغناطيسى ، فسيكون التأثير التراكمى من كل هذه الأصداء مساويا تمامـا فى الشدة للإشارة الأصلية . ويظهر تحليل أدق شىء أكثر غرابة . حـيث يتضح أن الصدى الذى يختـرق الموجة المتقدمة الأصلية فى كل مكان فى الفضاء أنه مختلفا تماما معها فى الطور . وهذا من شأنه أن يلغى الموجـة المتـقدمـة تمامـا من خـلال تداخل مـدمـر . وكل الموجـات المرسلة الماضى سيقضى عليها تماما بواسطة أصدائها ! وعلى ذلك استنتج ويلر وفينمان أنه فى كون معتم ، لا توجـد إلا الموجات الكهرومغناطيسية المتأخرة ، حتى وإن أشع كل جسيم فردى بصورة متماثلة كلا من الموجات المتقدمة والمتأخرة .

وتحدث النتيجة المدهشة لتحليل ويلر – فينمان ،لأنه لا يمكن فى نظريتهما فصل النشـاط الكهرومغناطيسى لأى جسيم فردى مشحـون عن النشـاط الكهرومغناطيسى الموجـود فى الكون كله . ولا يمكن للمـوجـات الموجـودة فى أحـد الأمـاكن أن تنفك عن الأصداء التى تستحثـهـا حتى من المناطق الأكثر بعدا فى الكون . والأكثر من ذلك ، فبسـبب قدرة الإشـارات المتقدمة على الانتـشـار نحو مـاضى الزمن ، فلا يوجد ألف

مليون سنة تأخير لكى يعود الصدى (وكان هذا المشكلة المتعلقة " بصدى " الجاذبية المطلوب لإحداث قوة قصور ذاتى) . وعلى ذلك يصبح كل إرسال راديوى ضعيف حدثا كونيا بمعنى الكلمة .

4 - وحدة الوجود فى جميع أشكاله :

إن نظرية ويلر – فينمان هى نظرية ماخ ، حيث أنها تبحث فى ربط المحلى بالكلى بشبكة من التأثيرات ، وتقترح أننا قد لا نفهم النظم الفيزيائية الفردية إلا من خلال مرجع مناسب للكل . وعلى الرغم من أن النظرية لا تزال تأملية ، إلا أن هناك اتفاق عام على أن غياب الموجات المتقدمة فى الطبيعة يتطلب فى النهاية تفسيرا كونيا ، وأن سهم الزمن له أصل كونى . وعلى ذلك فحقيقة أننا ندرك الاختلاف الحاد بين الماضى والمستقبل فى سلوك العالم من حولنا يعتبر مثالا للعلاقة بين الكبير والصغير ، الكل وأجزاؤه .

وربما تكون هناك روابط أخرى من هذا النوع ، فالقطب الأحادى المغنطيسى يقدم مثالا محتملا آخر . وكما أوضحنا فى الفصل التاسع ، عندما درس ديراك فى الأصل فكرة الأقطاب الأحادية المغنطيسية ، وجد أن قيمة الشحنة المغناطيسية المحمولة على أى قطب أحادى يحتمل وجوده ترتبط من خلال قوانين الكهروديناميكا الكمية بالوحدة الأساسية للشحنة الكهربية التى يحملها الإليكترون . وإحدى النتائج هو أنه حتى إذا كان هناك قطبا أحاديا واحدا فقط فى العالم كله ، فإنه سيجعل الشحنة الكهربية على كل إلكترون تكون على ما هى عليه . ونتيجة لذلك ، تتوقف كمية الشحنة على إليكترون هنا على وجود قطب أحادى مغناطيسى فى الجانب الآخر من الكون .

وفى السنوات الأخيرة ، أولى مزيد من الاهتمام لدور الفيزياء الكمية فى تقديم علاقة بين الجزء والكل . وقد قدم ديفيد بوم التفسير البليغ فى كتابه الكمال والنظام المتضمن Wholeness and the Implicate Order ، الذى كتب فيه أن : " لنظرية الكم نوعا جديدا أساسا من العلاقة الغير محلية ،يمكن وصفها بعلاقة غير سببية للعناصر المتباعدة عن بعضها البعض ."

وضع بوم تشبيها بين النظام فى عالم الكم والنظام فى هولوجرام hologram . فالهولوجرام هو جهاز يعطى المعلومات فى شكل صور . ويمكن إعادة إنشاء المنظر

المشفر على هيئة صورة ثلاثية الأبعاد بواسطة شعاع الليزر . وتخزن معلومات المنظر كنمط على لوح فوتوغرافى ، ولكن بشكل لا تستطيع العين البشرية التعرف عليه . وينتج النمط فى الواقع عن طريق التداخل بين شعاعين ليزر ، ويعتبر بصفة عامة نمطا معقدا جدا . ولا يمكن أن يرد إلى أصله ألا بالاستعانة بالليزر مرة أخرى . وفى شريحة فوتوغرافية تقليدية ،يوجد لكل سمة من الصورة المسقطة مقابلها فى مكان ما على الشريحة: فهناك تماثل متطابق بين أجزاء الصورة وأجزاء الشريحة . والهولوجرام لا يشبه ذلك تماما . فكل سمة على صورة الهولوجرام تشفر من خلال اللوح الفوتوغرافى ككل . ويكون الاختلاف فى غاية الوضوح إذا ما أضئ جزء من اللوح . وتظل الصورة المعاد إنشائها سليمة ،على الرغم من تشوه جودتها بعض الشيء ، لأن المعلومات عن الصورة ككل لا يزال يمكن الحصول عليها من جزء من اللوح . وهذا تباين واضح مع شريحة تقليدية ، حيث تسبب عدم الإضاءة الكاملة صورة مسقطة لها أجزاء غير واضحة .

وهناك كتاب آخرون من أمثال فريتجوف كابرا Fritjof Capra فى كتابه The Tao of Physics وجراى زوكاف فى كتابه The Dancing Wu Li Masters أكدا على التشابهات الوثيقة بين فيزياء الكم والصوفية الشرقية ، مع تأكيدهما على وحدة الوجود والعلاقات الدقيقة بين الكل وأجزائه .

ووجهة النظر عن العالم بأن الكل أكبر من مجموع الأجزاء التى اقترحتها فيزياء الكم قد تدعمت إلى حد بعيد من خلال السمات غير المحلية لحالات الكم ، كما أوضحنا فى الفصل الثالث . وسوف يتذكر أنه فى تجربة أينشتاين وبودولسكى وروزن ، ظل الجسيمان مرتبطين ارتباطا وثيقا على الرغم من تباعدهما . وفى موقف كهذا لا يمكن اعتبار كل جسيم موجود بصورة مستقلة فى غياب الجسيم الآخر بشكل واضح .

وبصفة عامة ، يمكن اعتبار جسيم كمى بأن له صفة محددة تماما ، مثل وضع أو حركة ، فقط من خلال سياق بعض الترتيبات التجريبية التى يصمم فيها الجهاز لقياس خاصية معينة للجسيم . ومن المعقول ،على سبيل المثال ، التحدث عن جسيم فى مكان فقط إذا كان جزءا من نظام معقد مصمم لقياس وضعه . وفى غياب منظومة قياس ، فكل الحديث عن موقع الجسيم يعد حديثا بلا معنى . وهكذا لا يمكننا أن نحدد وضع جسيم كمى إلا من خلال إطار نظام قياس ميكروسكوبى يحتوى هو نفسه على

ملايين لا تحصى من جسيمات الكم الأخرى . وموضع الجسيم هو فى الحقيقة مفهوم شمولى ، أو تنطبق عليه فكرة الكل أكبر من مجموع الأجزاء .

ومن الواضح أن هناك علاقة دقيقة بين حقيقة العالم الميكروسكوبى والعالم المرئى الكبير المألوف . وفى النهاية ، لا يمكننا فصل الحقيقة الكمية عن تركيب الكون كله ، ولذا فإن حالة جسيم فردى لا تكون بذات معنى إلا إذا درست من خلال سياق الكل . والعوالم الصغيرة والكبيرة هى عوالم متضافرة ، لا يمكن فصلها عن بعضها البعض أبدا .

وفكرة أن نظام الكل أكبر من الأجزاء غير السببى موجود فى الكون قد نشأت بأية حال مع الفيزياء الحديثة . وعلم التنجيم ، على سبيل المثال ، هو محاولة تمييز نظام كونى تنعكس فيه شئون الإنسان فى تنظيم السماء . واقترح المحلل النفسانى كارل يونج Carl Jung والفيزيائى الكمى وولفجانج بولى Wolfgang Poli مبدأ اتصال غير سببى أطلقا عليه التزامنية synchhronicity . وقد جمعا دلالة عن نوع من النظام المنتشر ، تجرى فيه أحداث مستقلة ظاهريا متصلة بصورة مفهومة . والمثال على هذه الأحداث هى الحالات المدعمة بالوثائق للصدف غير العادية ، التى تقع خارج توقعات الاحتمال . والتفسير العام لهذه الأفكار قد قام بتقديمه آرثر كوستلر فى كتابه جذور المصادفة The Roots of Coincidence.

وهناك عنصر مفارقة يكتنف هذه الأفكار ، أثر من الزنية (7) Zen ، وأيضا فى " الحلقات الغريبة " التى ناقشها دوجلاس هوفستادتر Douglas Hofstadter فى كتابه Godel,Escher,Bach. ويدعم الكل الأجزاء التى تكون بنفسها الكل . فنحن نحتاج إلى الكون قبل أن نعطى حقيقة ملموسة للذرات ذاتها التى تشكل الكون! أيهما "جاء أولا " الذرات أم الكون ؟ والإجابة هى " لا هذا ولا ذاك " . فالأكبر والأصغر ، العالمى والمحلى ، الكونى والذراتى ، تدعم بعضها البعض وهى سمات لا تنفصل عن الحقيقة . فلا يمكن أن يكون لديك واحد دون الآخر . والفكرة الانقسامية الأنيقة والقديمة عن كون يعتبر ببساطة مجموع أجزائه هى فكرة تنبذها تماما الفيزياء الحديثة. هناك وحدة فى الكون ولا يكون المرء قد ابتعد كثيرا عن تعبير الانتظامية . إنها وحدة تقول بدون كل شىء لا تستطيع أن تحصل على شىء .

الهوامش

(1) أرنست مـاخ (1838 - 1916) : فيزيائى وفيلسوف نمساوى رفض وجود الزمن المطلق والفضاء المطلق .

(2) الفلسفة الوضعية : فلسفة أوجست كانت التى تعنى بالظواهر والوقائع اليقينية محسب ، مهلة كل تفكير تجريدى فى الأسباب المطلقة . المترجم .

(3) چورج خـبـاركلى (1785-1753) : فيلسوف إيرلندى . قال بأن الأشياء المادية ليس لها وجود مستقل .

(4) البارون جوتفريد لايبنتر (1646-1716) : فيلسوف ورياضى ألمانى . قال بـعـدم التـعارض بين الإيمان والعقل .

(5) نيلز بور (1885-1962) : فيزيائى دنماركى . درس تركيب الذرة .

(6) إنريكـو فـيـرمـى (1901 - 1954) : فيزيائى أمريكى . إيطالى المولد . ساعدت دراساته على صنع القنبلة الذرية .

(7) الزنيـة : فرقـة بودية تؤمن بأن فى ميسور المرء أن ينفذ إلى طبيعة الحقيقة من طريق التـأمل . المترجم .

الفصل الرابع عشر

البحث عن غاية كونية

1 - أعظم حقائق الحياة :

كتب ستيفن واينبرج Steven Weinberg ذات مرة : " كلما بدا الكون أكثر قابلية للفهم والاستيعاب ، بدا أيضا أكثر عبثا " . يعتبر واينبرج أحد رواد الفيزياء النظرية فى العالم ، وربما عمل أكثر من أى عالم آخر من علماء جيله على توحيد الفيزياء . وواينبرج الذى يعتبر من الذين اشتركوا فى وضع النظرية الموحدة للقوة الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية ، يستطيع أن يقيم معظم الفيزياء الحديثة وعلم الكون بنظرة خبير محدق على نحو فريد ، وأن يقدم استنتاج محكم على وجه الخصوص . وتعد ملاحظاته نموذج للعديد من الملاحظات التى يقوم بها العلماء حاليا ، ويستدل من أبحاثهم على أن الكون ليس له هدف يمكن إدراكه ، ولابد اعتباره حادث ضخم وبلا معنى .

ومما يدعو للاستغراب ، أن علماء آخرين يدرسون نفس مجموعة القوانين ونفس البيانات الفنية ، يتوصلون إلى استنتاجات مختلفة تماما . والبعض منهم من أمثال أرفين شرودنجر Erwin Schrodinger ، الذى اعترف بحيرته عندما قال : " أنا لا أعرف من أين أتيت ولا أعرف إلى أين أذهب ، ولا أعرف من أنا ." وبالنسبة لهؤلاء ، تعتبر الطبيعة غامضة الدلالة جدا وبعيدة الغور تماما ، ويمكننا التعرف على قشور الحقيقة ، لكننا سنجد أنفسنا دائما أمام أعماق هائلة من الغموض يصعب فهمها ، وكل ما نأمل تحقيقه هو الكشف عن بعض القوانين المنظمة لحركة الكون ، وأن نشعر بدهشة كبيرة لجمالها . إن مجال رؤيتنا من الضيق بحيث أننا نجد صعوبة كبيرة فى التعامل مع قضايا عويصة تتناول المعنى والغرض .

ومع ذلك ، فهناك قليل من العلماء أكثر جرأة وأكثر وثوقا ، أقروا بأن معرفتنا لطريقة عمل الطبيعة محدودة وتجريبية ، لكنهم متشائمين من أننا سننجح فى النهاية فى اكتشاف القوانين الأساسية الحقيقية التى تنظم الكون . وقد كتب جون ويلر : " من

المؤكد أن باب سينفتح فى يوم ما ، ويكشف عن الآلية المركزية المبهرة للعالم فى جمالها وبساطتها ."

وهناك أيضا من هم مستعدون لافتراض أن الآلية المركزية المبهرة " ربما تكون حاليا بين أيدينا . وتحت عنوان : " هل وصلنا لنهاية البحث فى الفيزياء النظرية ؟ " ألقى ستيفن هوكنج Stephen Hawking محاضرة بمناسبة ترقيته لمنصب أستاذ كرسى لوكاس جامعة كامبرديج ، وهو المنصب الذى شغله نيوتن من قبل . وقال هوكنج أن فرط الجاذبية تقدم لأول مرة إمكانية نظرية موحدة عن الطبيعة ، توصف من خلالها كل التركيبات والعمليات الفيزيائية من خلال قانون رياضى واحد ، وأضاف بأن إنجاز كهذا سيمثل تتويجا للعلم الفيزيائى . وقد يعتقد المرء أن النظرية التى تم التوصل إليها قد لا تكون مجرد تقريب آخر على الطريق اللانهائى للحقيقة ، بل الحقيقة ذاتها . ويمكن أن يكون لدينا حينئذ نفس القناعة بهذا القانون الأخير للطبيعة مثل قناعتنا بقوانين الحساب .

واستعد قليل من الفيزيائيين للخوض فى هذا المضمار ، فى حين كان العديد مستلهمين بالتناسق اللافت للانتباه والنظام ووحدة الطبيعة التى كشفت عنها التطورات الحديثة ، وراعتهم بقوة طريقة تضافر قوانين الطبيعة مع بعضها البعض لدرجة أنهم شعروا بقوة كبيرة بالاعتقاد بأن هناك شيء ورائها جميعا . وفى عبارة تفيض بالقوة والمعنى لفريد هويل:"الكون عمل مدبر The universe is a put-up job " .

ما الذى جعل العلماء يصلون لهذه الاستنتاجات القوية ؟ فى الفصل السابق قدمنا بعض الدلالات عن الاعتقاد بوجود وحدة شاملة فى الطبيعة . وتقدم دراسة علم الكون دلالة مهمة على وجه الخصوص عن الوحدة ، ولم يكن لهذه الدراسة أن توجد إن لم يستطع المرء التحدث عن "الكون" كنظام متكامل .

غير أن الدلالة تتجاوز الوحدة ! ويبدو أن كل تقدم فى الفيزياء الأساسية يكشف عن وجها آخر من أوجه النظام . ويتوقف نجاح الطريقة العلمية على أن العالم الفيزيائى يعمل وفق مبادئ عقلانية ، ومن ثم يمكن تبينها من خلال البحث المنطقى . ومنطقيا ، لا يستوجب أن يكون الكون على هذا النحو ، ويمكننا تصور كون تسوده الفوضى الشاملة ، وبدلا من السلوك الخاضع للنظام والتناسق للمادة والطاقة يجد

المـرء نـشاطا عـشوائيا واعـتباطيا . والتركيبات الثابتة مثل الـذرات ، أو الناس ، أو النجـوم يمكن ألا توجـد . والعالم الحـقيقى ليس بهذه الطريقة؛ إنه منظم ومعـقد . أليس هذا فى حد ذاته حقيقة مذهلة تثير الدهشة ؟

كيف ، نتيجة لذلك ، يستنتج بعض العلماء من أمثال وينبرج أن العالم بلا معنى على الرغم من النظام الموجود فى كل مكان الذى تظهره قوانين الطبيعة ؟ واعتقد أنها إلى حد ما حـالة كون المرء مشـغول بالتـفاصيل عن رؤية الصـورة كاملة ، فـالعـالم المتخصص غارق تماما فى الكشف عن قوانين الطبيعة لدرجة أنه ينسى كم هو جدير بالملاحظة وجود هذه القوانين فى المقام الأول . ولما كان العلم يفـترض سلفـا قـوانين منطقيـة ، فنادرا مـا يتوقف العـالم عن التفكير فى سبب وجود هذه القوانين . ومثلما يفترض قراء الكلمات المتقاطعة دون تفكير وجود إجابة للغز ، فنادرا كذلك ما يسـأل العالم عن وجود إجابات منطقية لاستفساراته العلمية .

هذا المغزى " ومـا الجديد فى الأمـر ؟ " تفـشى فى المجـتمع التكنولوجى الغـربى بأسره . حتى غير العلماء قد قبلوا بدون تفكير العمل المنظم للكون ؛ فهم يعرفون أن الشمس ستشرق فى موعدها كل صباح ، والحجر سيسقط دوما بدلا من أن يرتفع ، وأن الآلات الصـغـيـرة المبـتكرة والماكينات الموجـودة حـولهم تـعمل دائمـا على الوجـه الصحيح طالما لا توجد عيوب فى آليتها . فـالعقلانية والاعتمادية والنظام فى العالم الفيزيائى أمر يؤخذ على علاته . إنها حقيقة عظيمة من حقائق الحياة نادرا ما تستثير أى شعور بالعجب .

2 - استنباط القوانين الطبيعية :

بالإضافة إلى وحدة الطبيعة ونظامها ، فإن الفيزيائيين يتأثرون بشدة بتناغمها وترابطها غير المتوقع . وعلى نحو تقليدى ، كانت الفيزياء تنقسم إلى عدد من الفروع أكثر تباينا : مثل الميكانيكا والضوء والكهرومغناطيسية والجاذبية والديناميكا الحرارية والفيزياء الذرية والفيزياء النووية وفيزياء الجوامد ، وغيرها . تخفى هذه التقسيمات المصطنعة بعض الشىء روعة التلاحم الذى يضم هذه الموضوعات معا . فلم نجد ، على سبيل المثال ، أن قوانين الجاذبية تتضارب مع قوانين الكهرومغناطيسية أو قوانين فيـزياء الجـوامد . وفى حـالات عديدة لم يكن هذا التوافق واضحا على الإطلاق ، ولم

ينكشف إلا خلال تحليل دقيق . وهناك مثال رائع قريب من مجال أبحاثي يتعلق بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية . وعلى الرغم من أن هذا القانون قد استنتج في الأصل في منتصف القرن التاسع عشر لمدى محدود نوعا ما من العمليات التي لها علاقة بالآلات الحرارية ، فسرعان ما اتسعت تطبيقاته ، ويعتبر حاليا المنظم الأكثر شمولا للنشاط الطبيعي المعروف للعلم . ويحكم القانون الثاني الطريقة التي يمكن أن تتبادل فيها الطاقة والمادة بين النظم بطريقة منظمة ، ويمنعنا بشدة من استخدام نفس كمية الطاقة عدة مرات لغرض مفيد مثل تشغيل ماكينة .

وبإيجاز ، ينص القانون الثاني على أن الاضطراب لا يمكن أن يبعث تلقائيا على نظام. وبصورة أكثر دقة ، يسن هذا القانون تفسير مقايضة الطبيعة بكمية تسمى بالانتروبيا entropy ، أي الطاقة غير المستفادة ، والتي هي تقريبا درجة الاضطراب في نظام فيزيائي . وعندما يتعلق الأمر بالآلات ، تتعلق الانتروبيا بمقدار الطاقة المفيد المتاح . وفي أية عملية ، لا يمكننا السيطرة على بعض الطاقة ، حيث تتبدد في البيئة . وعندما تصبح طاقة منظمة غير منظمة بهذه الطريقة ، فإن الانتروبيا ترتفع . ويمنع القانون الثاني انتروبيا نظام كامل من الهبوط . وحتى الآلات الأكثر كفاءة لا يمكنها استعادة حرارة مفقودة كالاحتكاك .

والآن فقد يفترض أن تنوع وتعقد العمليات الطبيعية كبير - صور الطاقة والمادة وطبيعة نشاطها العديد- لدرجة أنه قد توجد على الأقل حالة واحدة من الانتهاك للقانون الثاني . ليس كذلك ، فكلما ظهرت أنواع جديدة من المادة أو التفاعلات ، فإنها تتوافق دائما مع القانون الثاني .

ولنأخذ الجاذبية ، على سبيل المثال . فهذا الموضوع يبدو أنه لا يمت بصلة مباشرة بالديناميكا الحرارية . وعلى الرغم من ذلك ، تكشف تجربة تخيلية غريبة ابتكرها هيرمان بوندي Hermann Bondi عكس ذلك . يوضح (شكل 29) أرجوحة مصنوعة من ألياف ضوئية صلبة . وعند كل طرف من الألياف توجد كرات تحتوي ذرة واحدة مختارة بعناية ، والأسطح الخارجية للقضيب محجوبة عن الضوء بواسطة الفضة . افترض بداية أن الذرة في الكرة اليسرى قد أثيرت . وبوجود مزيد من الطاقة في الذرة الموجودة بالكرة على اليمين فإنها ستزن أكثر ، وبذلك ستحاول الجاذبية جذب الأرجوحة لأسفل جهة اليسار ولأعلى جهة اليمين . ويمكن استخدام قوة

هذه الحركة فى دفع دينامو لإدارة ماكينة . وفى النهاية ، يصل القضيب إلى الميل الأقصى ، والذى يكون عند أفضل كفاءة فى الوضع الرأسى ، وتكون الذرة المستثارة فى القاع (انظر شكل 29 (B)). والآن تتوقف الماكينة .

وحتى الآن ، لم يحدث شيئا ملفتا للانتباه . وعند هذه المرحلة نتذكر أن الذرات المستثارة ليست ثابتة ، وفى النهاية ستتحل إلى حالة غير مستثارة من خلال انبعاث الفوتونات . وعندما يحدث هذا للذرة المستثارة فى الكرة السفلى ، تنتقل نبضة من الضوء إلى الألياف . وعندما تصل إلى قمة الكرة ، تثير الذرة المحتواة فى ذلك المكان، إذ تجعلها أثقل من الذرة الموجودة عند القاع . ونتيجة لذلك سيصبح القضيب ثقيل الرأس ، ويتأرجح مرة أخرى بصورة مستمرة إلى أن تصبح الذرة المستثارة مرة أخرى عند القاع والذرة غير المستثارة عند القمة . يمكن استخلاص المزيد من الطاقة خلال هذه العملية . وعندئذ تتكرر الدورة إلى ما لانهاية .

وعلى الرغم من أن القوى الموجودة هنا صغيرة للغاية ، ومقدار الطاقة الناتج ضئيل جدا ، إلا أن الجهاز يبدو قادرا على توليد كميات غير محدودة من الطاقة من لا شئ ، إذا كنت مستعدا للانتظار فترة أطول (أو كان لديك عدد كبير من هذه الأجهزة). إنه طور حديث من النقاليات الدوامية perpetuum mobile التى تحمس لها مخترعو العصور الوسطى على أنها الإجابة الصحيحة لأزمة الطاقة . والجهاز فى حد ذاته يدخل فى صراع مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية الذى يمنع وجود مثل هذه الأجهزة perpetuum mobiles. ولكن ترى أين يكمن العيب ؟

ويظهر تحليل دقيق أن هناك فرض خفى يتعلق بتشغيل الجهاز . هذا الفرض هو أنه لا يحدث تغيير للذرة المستثارة عند انتقالها من الموقع الأعلى إلى الموقع الأدنى . غير أن هذا ليس صحيحا ، فقد تجاهلنا أحد تأثيرات الجاذبية . وكما شرحنا فى الفصل الثانى ، فإن الجاذبية تبطئ الزمن . واستثارة ذرة أكثر شبها بتذبذب ؛ وعلى ذلك ، فإذا تباطأ الزمن ، يتباطأ بالمثل تردد الذبذبة . ويعنى هذا ضمنيا أن طاقة الاستثارة ستنخفض إلى حد ما ، وأن هذا الفقد فى الطاقة بالتحديد هو الذى يستنضب لتشغيل الماكينة . وعندما يتسلق الفوتون الليف الضوئى ، نتيجة لذلك ، فإنه يصل عند القمة بأقل طاقة من ذى قبل ، وإما أنه سيفشل فى استثارة الذرة هناك ، أو لا ينتج إلا مستوى استثارة منخفض . وبعد دورات قليلة ستكون طاقة الإثارة

لا تذكر ، ويصل الجهاز لوضع التوقف . وينتصر القانون الثانى للديناميكا الحرارية مرة أخرى .

وفى مناقشة هذا المثال المثير ، أشار بوندى Bondi إلى أن تباطؤ الزمن بفعل الجاذبية هو أحد المبادئ الأساسية التى بنيت عليها النظرية العامة للنسبية لآينشاتين . ويمكن أن يظهر أنه مرتبط بالحقيقة المعروفة جيدا ، التى أعلنها جاليليو ، وهى أن الأجسام الساقطة سقوطا حرا تتسارع بسرعات متساوية . وإن كنا لم نعرف هذه الحقائق عن الجاذبية من قبل ، فيمكن أن نستنتجها من أحد قوانين الديناميكا الحرارية .

وقد رأينا قبلا فى الفصل الثالث ، كيف مكن اتساق متشابه بين الجاذبية وميكانيكا الكم بور من إنقاذ مبدأ عدم اليقين لهايزنبيرج من الهجوم عليه من قبل آينشاتين . كم هى رائعة أمثلة اتساق الفيزياء !

ومنذ حوالى خمسة عشر عاما مضت ، ظن الفيزيائيون أنهم اضطروا فى النهاية للتعامل مع نظام فيزيائى كان غريبا بما يكفى لتفادى الانتقادات الشديدة للقانون الثانى ، وكان هذا النظام هو الثقب الأسود .

قام يكوب بيكينشتاين Jacob Bekenstein بأول دراسة نظامية للخصائص الديناميكية الحرارية للثقوب السوداء فى حوالى 1970 ، وتخيل بيكنشتاين "تجربة فكرية " ، كان يتدلى فيها صندوقا مملوءا بالإشعاع الحرارى ببطء على حبل باتجاه سطح (يعرف بالأفق) ثقب أسود ، وعلى أثر ذلك كان يفتح وتلقى محتوياته فى الثقب ، ويسحب الصندوق مرة أخرى إلى مسافة آمنة (انظر شكل 30) .

والفقد الظاهرى غير المستعاض للحرارة فى الثقب الأسود يقلل انتروبيا البيئة ، ومن ثم تراءى لبيكينشتين أن الثقب لابد وأن يحمل بنفسه انتروبيا ترتفع نتيجة حرارته المفقودة ، وهكذا ينقذ القانون الثانى الغاية فى الأهمية . وبملاحظة أن أية طاقة يلقى بها لابد وأن تجعل الثقب الأسود يتضخم فى النهاية ، فقد اكتشف أن مساحة أفق الثقب (بالتقريب مساحة سطحه) هى مقياس لانتروبيته .

وقد وضع ستيفن هوكنج من جامعة كامبرديج هذه التأملات على أساس قوى ، الذى أعلن فى عام 1974 نتيجة رائعة لتحليل رياضى جديد . طبق هوكنج نظرية

الكم، التى تقتصر عادة على الذرات والجزيئات ، على موضوع الثقوب السوداء ، وتوصل إلى أول قائمة طويلة من المفاجآت . فقد وجد أن الثقوب السوداء ليست سوداء على الإطلاق ، لكنها مغلفة بوميض من الإشعاع الحرارى . وكما هو حرى بنتيجة لنظرية ذرية فى الأساس ، فإن إشعاع هوكنج لا يكون مهما إلا للثقوب الميكروسكوبية ذات الأبعاد النووية ، لكنه من الواضح أضفى على كل ثقب شكلا جديدا من الانتروبيا التى تؤكد تخمين بيكنشتين الأصلى:فمساحة الثقب هى العامل المهم . وربما تدخل الطاقة الثقب من الخارج ، وبانتظار إشعاع هوكنج أن ينبثق ، فقد يعود فى النهاية إلى البيئة مرة أخرى . وفى كل عمليات التبادل هذه – فالانتروبيا الكلية – العادية زائد مساحة الثقب الأسود – ينبغى ألا تقل .

كيف يعمل القانون الثانى المعمم الجديد للديناميكا الحرارية ؟ فى تبادلات طاقة بسيطة فإن انتروبيا الثقب الأسود من غير شك تمتص العجز الناشئ عن الفقد غير المستعاض للانتروبيا العادية داخل الثقب . غير أن إعادة تشغيل الصندوق فى " تجربة " حبل تواجه مشاكل . وتنشأ المشكلة من حقيقة أنه لكون الصندوق معلق عند أوضاع أدنى قريبة دائما من الأفق ، فإن الطاقة الفعالة لمحتوياته تنضغط بواسطة جاذبية الثقب الطاغية . ويمكن إرجاع السبب إلى الشغل المستهلك بواسطة وزن المحتويات عندما يتدنى . وتكون جاذبية الثقب من القوة حتى أنه عند الاقتراب من الأفق فإن محتوى الطاقة الكلى للصندوق ، يتضاءل إلى الصفر . ويستنتج من ذلك أنه إذا فتح باب في الصندوق وألقيت محتوياته فى الثقب ، فإن الطاقة الملقاة حينئذ سوف تكون أقل كثيراً من الطاقة المحبوسة فى الأصل فى الصندوق .

ويمكن تقدير مغزى عجز الطاقة هذا بسهولة ، فحجم الثقب الأسود يتحدد من خلال محتوى طاقته الكلية ، وكلما أضيفت طاقة سيزداد كبرا تبعا لذلك . وتعتمد انتروبيا الثقب أيضا على مقاسه ، أى ، مساحة الأفق . وإضافة الطاقة يعزز نتيجة لذلك من انتروبيا الثقب . ومشكلة سيناريو صندوق فى حبل هو أن عجز الطاقة السابق ذكره يعنى ضمنيا تعزيز انتروبيا أقل للثقب . ووجد بيكنشتين أنه إذا فتح الصندوق قريبا جدا من الأفق ، فإن الطاقة الحرارية الفعالة تستنزف لدرجة أنها لا يمكنها تخزين ما يكفى من انتروبيا الثقب الأسود – تكفى ، بمعنى أن تعوض الانتروبيا المنقولة إلى داخل الثقب مع الإشعاع الحرارى . وينتهك القانون الثانى ويظل الطريق ممهدا لإنشاء perpetuum mobile .

وفى تحليل شامل للموضوع كله ، توصل كل من ويليام يونراه William Unruh من جامعة كولومبيا البريطانية وروبرت والد Robert Wald من جامعة شيكاغو ، إلى حل للمشكلة . وجوهر موضع البحث المشترك ، هو أن تأثيرا مهما على الصندوق-الأوجه الكمية للثقب - قد أهمل فى المعادلة . ومن على بعد يظهر الثقب محجوبا عن النظر بالإشعاع الحرارى بسبب تأثير هوكنج . وعلى الرغم من أنه لثقب كبير تكون درجة الحرارة صغيرة جدا ، إلا أن درجة الحرارة الفعالة التى يتأثر بها صندوق معلق ترتفع بانتظام كلما تدلى نحو الأفق .

ويمكن تصور الارتفاع فى درجة الحرارة الفعالة بصورة استدلالية كما يلى: التواء الزمن المتصاعد الناشئ عن جاذبية الثقب يعنى ضمنيا ، بتعبير بسيط ، أن الزمن يمر بصورة أبطأ فأبطأ كلما اقترب الثقب ، ويتوقف تماما عند الأفق؛ وبالطبع فالكل منسوب إلى (ساعة) بعيدة . يتكون الإشعاع الحرارى من موجات تحتوى على عدد لا يحصى من الساعات (المنبهات) الطبيعية - اضطرابات موجية - تتكتك بصورة جنونية فى الزمن المتباطئ عند أعماق كبيرة لتلاحق نظائرها الأكثر ارتفاعا وتحافظ على الاتزان الحرارى . وتعنى الترددات الأعلى ضمنيا درجات حرارة أعلى . وهكذا ، ففى مجال جاذبية ، يعنى الاتزان الحرارى ضمنيا نسبة انحدار فى درجة الحرارة . وبما أن لإشعاع هوكنج بالدقة هذه الطبيعة الاتزانية ، فقد يتوقع المرء أن يكون أكثر احترارا بالقرب من الثقب .

وبمعلومية هذه السمة الجديدة ، سرعان ما اكتشف يونراه ووالد أن سلوك الصندوق المعلق سلوكا متغير بدرجة كبيرة . ولاحتواء إشعاعه الحرارى ، يجب أن يكون للصندوق جدران عاكسة بدرجة كبيرة . غير أن الخاصية ذاتها التى تبقى على إشعاعه تعمل أيضا على استبعاد إشعاع هوكنج . ونتيجة لذلك ، فكلما تدلى الصندوق فإنه يثقب حفرة فى غلاف الحرارة المغلف للثقب ، وتحدث الإزاحة الناتجة للإشعاع دفعا لأعلى على الصندوق مثلما تؤدى إزاحة الماء إلى جعل قارب طافيا . وعلى الرغم من أن أرشميدس قد دخل مقبرته ، فلا يزال قانونه الشهير يستشهد به هنا .

وقوة الطفو التى يواجهها الصندوق تغير مباراة الطاقة - الانتروبيا كلها ، لأن الوزن الفعال للصندوق يتناقص بصورة تدريجية كلما تدلى ، ونتيجة لذلك يتلاشى الشغل الناتج من هبوط المحتويات . ويستتبع من ذلك أن لا يكون هناك عجز كبير فى

الطاقة عندما يفتح الصندوق كما كان يفترض من قبل . وفى الواقع ، عندما يهبط الصندوق بدرجة كافية فإن درجات الحرارة المتزايدة الارتفاع ستكون قادرة فى النهاية على معادلة وزن محتويات الصندوق بشكل تام . ولا توجد فائدة مرجوة من إنزال الصندوق بعد نقطة التعادل . وعندما يفتح الصندوق ويضحى بمحتوياته ،تكون الطاقة التى تصل الثقب أقل ما يمكن إذا ما اعتقت محتويات الصندوق عند نقطة التعادل . وأوضح يونراه ووالد أن هذه التأثيرات كافية تماما لإنقاذ القانون الثانى للديناميكا الحرارية من خلال فرض حد أقصى محدد على مقدار عجز الطاقة المكتسب من محتويات الصندوق أثناء عملية الإنزال .

وتنشأ إمكانية أكثر روعة إذا ما أنزل صندوق فارغ بعد نقطة التعادل ، فسوف يصل الطفو المتصاعد فى النهاية إلى مستوى يكون قادر على دعم الوزن الكلى للصندوق ؛ وقد يقطع الحبل بعد ذلك ويطفو الصندوق حسب مشيئته فى حمام حرارة الثقب !

ولا تزال تظهر هناك إمكانية مثيرة أخرى إذا تدلى صندوق فارغ بعد نقطة التعادل وفتح ، لأنه سيصبح مملوءا فى الحال بإشعاع ذا درجة حرارة عالية من غشاء الحرارة المغلف للثقب . وهذه الطاقة الحرارية قد يجرى سحبها واستخدامها . وسوف يكون لدينا منجم طاقة بمعنى الكلمة من الثقب (انظر شكل 31) .

وسيظهر هذا الإنجاز متناقضا تماما بدون مفهوم " طاقة الكم السالبة " ، لأن الطاقة فى نهاية الأمر يجب أن تنشأ مع الثقب الأسود ذاته ،ومع ذلك لا يوجد شىء بما فيه الطاقة يفترض أن يكون قادرا على الهروب من ثقب أسود . ومع ذلك ،يمكن أن يظهر أن الطاقة التى تظهر فى الصندوق قد تم اكتسابها ، ليس من خلال استخراج مباشر من الصندوق ، ولكن عن طريق حقن طاقة سالبة فى الثقب . هذا الدفق من الطاقة السالبة سيجعل الثقب ينكمش قليلا لتعويض الحرارة فى الصندوق . وعلى الرغم من هذا ، فسرعان ما يعاد ملأ الثقب بزيارة غير متوقعة لمقدار مكافئ للكتلة المتبددة . وهكذا يكون لدينا ، من حيث المبدأ ،وسيلة قادرة على تحويل أية مادة غير مرغوبة إلى طاقة حرارية .

ولم يقترح أحد أن اكتشاف يونراه – والد سيحل مشاكل العالم من الطاقة ،أو أنه حتى يماثل الحقيقة بقدر صغير جدا . وسيناريو الصندوق فى حبل هو فنتازيا ، تجربة فكرية صممت من أجل اختبار صحة قوانين الفيزياء . فى حين لا يقلل هذا من أهميتها . فإذا كانت المبادئ الأساسية للديناميكا الحرارية ونظرية الكم والجاذبية غير متوافقة ، حتى فى موقف تخيلى ، فسوف نضطر إلى التخلى عن واحدا منها على الأقل . وحقيقة أن التوافق الذى نحصل عليه فى هذه الظروف الغريبة يمنحنا ثقة كبيرة فى الصلاحية الشاملة لهذه القوانين الأساسية .

والمغزى من وراء هذه القصة هو أن الثقب الأسود يضم معا ثلاثة فروع مختلفة نوعا ما من الفيزياء : فهناك الجاذبية المطلوبة لتصنع الثقب فى المقام الأول ؛ بعد ذلك هناك ميكانيكا الكم ، التى تجعل الثقب يتوهج ويبعث بالإشعاع الحرارى؛ وأخيرا هناك الديناميكا الحرارية ، التى تنظم تبادل الطاقة بين الثقب والبيئة . ومن النظرة الأولى يتضح وجود تضارب ؛ فالثقب الأسود يظهر أنه يبطل القانون الثانى للديناميكا الحرارية . وفى الواقع ، يتضح أنه ليس كذلك ، لكن فقط عندما تؤخذ فيزياء الكم فى الاعتبار . وفروع الفيزياء الثلاث تدعم على التبادل بعضها البعض ، حتى بالنسبة لنظام فى مثل غرابة الثقب الأسود . وعلاوة على ذلك ، فإن اتساق هذه الموضوعات المختلفة تماما لا ينكشف إلا بطريقة دقيقة ، بعد شىء من الفحص الدقيق للتأثيرات غير العادية نوعا ما (مثل ظاهرة الصندوق الطافى) التى لم تتضح من غير شك من أول وهلة .

ويقدم الثقب الأسود مثالا رائعا ، حينئذ ، عن كيفية تضافر الفيزياء مع بعضها البعض بصورة متماسكة ، أحيانا لأكثر الأسباب دقة . فلو لم نكن نعرف شيئا عن ميكانيكا الكم ، وبين أيدينا فقط قوانين الجاذبية والثقوب السوداء فيجب أن نستنتج أن هناك شىء ما خطأ . ومن الممكن أن نتصور أننا كنا سنضطر إلى استنباط ظاهرة إشعاع هوكنج ، ونمضى من هناك لاستنتاج قوانين فيزياء الكم .

3 - عبقرية العالم الطبيعى :

هناك قصة تروى بأن نيوتن صنع نموذجا متقن للمجموعة الشمسية . وعندما يعلق أحد على مهارة نيوتن فى إنشاء هذه الآلية المعقدة ، يجيب نيوتن بأن الإله البارع لابد وأن يزال أكثر مهارة لأنه أنشأ الشىء الحقيقى .

من ينكر أنه مأخوذ بعبقرية العالم الطبيعي ؟ فالطبيعة ماهرة بصورة مذهلة فى الطريقة التى تجعل بها الأشياء تعمل . فالقصة البطولية الكاملة للقوة العظمى هى مثال تقليدى لآلية عبقرية . ولندرس مسألة التماثلات القياسية ، ومسألة إيجاد قوى زيادة عن الحاجة للحفاظ على التماثل فى ظل تحولات قياسية عامة . طبيعة مبدعة أقل شأنا قد أوجدت تماما القوى " بيداها " .

بعد ذلك تأمل توحيد القوى . كيف تتولد بهذه البراعة والأناقة جميع القوى المطلوبة لصنع عالمنا المعقد والممتع من مجرد قوة عظمى واحدة . ومرة أخرى ، فقد استطاعت الطبيعة أن تختار الطريقة الأكثر بهيمية من مجرد إعطائنا أربع قوى مباشرة . ألم يكن كل هذا كافيا ! وحقيقة أن تركيب مجال القياس كله هو بالدقة الرياضية كل ما هو مطلوب لوصف العالم من خلال هندسة بحتة بإحدى عشر بعدا – هو نفسه تركيب فريد ذا خصائص رياضية أكثر تحديدا وغير متوقعة – يبدو كالمعجزة .

ومن المعجز أيضا ليس فقط ما تقدمه الطبيعة ولكن ما تحذفه . فالقوى الأربع كافية فقط لبناء عالم ذا تعقيد بسيط . وبدون الجاذبية ، لن تكون هناك فقط مجرات أو نجوم أو كواكب ، بل لا يمكن أن يأتى الكون حتى إلى الوجود ، لأن فكرة تمدد الكون ، والانفجار العظيم كمصدر للفضاء–الزمن متأصلة فى الجاذبية .

وبدون الكهرومغناطيسية ، لن تكون هناك ذرات ولا كيمياء أو بيولوجيا ، ولن توجد حرارة أو ضوء قادم من الشمس . ولو لم تكن هناك قوة نووية قوية فلن توجد النوى ، ولن توجد أيضا ذرات أو جزيئات ، ولا كيمياء أو بيولوجيا ولن تستطيع الشمس والنجوم توليد الحرارة والضوء من الطاقة النووية . وحتى القوة الضعيفة تلعب دورا أساسيا فى تشكيل الكون . فإذا لم توجد ، فلن تستمر التفاعلات النووية فى الشمس والنجوم ، ومن المحتمل ألا تحدث السوبرنوفا ، ولن تكون العناصر الثقيلة الأساسية الواهبة للحياة نتيجة لذلك قادرة على النفاذ إلى الكون . وربما تصبح الحياة مستحيلة . وعندما نتذكر أن هذه الأنواع الأربعة المختلفة من القوة ، كل واحدة منها ضرورية لتوليد التركيبات المعقدة التى تصنع كوننا ، بصورة فعالة ومؤثرة ، صادرة جميعها من قوة عظمى واحدة بسيطة ، فإن مهارتها تبهر العقل .

ومن الملفت للنظر على السواء هو أنه على الرغم من أن كل القوى الأربع هى قوى أساسية من أجل عالم معقد ومثير للاهتمام ، فإن الطبيعة لم تقرر أن "تلتزم جانب الأمان والحذر " وساهمت بزوج آخر على أحسن تقدير . هذا الاقتصاد المذهل - يكاد يكفى للقيام بالعمل ولا أكثر من ذلك- قد حث الفيزيائى الرياضى الإنجليزى إيوان سكواير Euan Squires ليسأل : " هل نعيش فى العالم الممتع الأبسط احتمالا ؟ واستنتج سكواير أن كونا يسمح ببعض أنواع الكيمياء ، ومن ثم الحياة ، لا يمكن أن ينشأ من قوى ومجالات ذات طبيعة أبسط من تلك التى ندركها بالفعل .

والفيزياء مليئة بأمثلة من العبقرية والرقة كهذه ، ويمكن للمرء أن يملأ المجلدات فى مناقشتها . وأتمنى أن يكفى توضيح أخير أن يقتنع القارئ بأن الطبيعة ماهرة جدا حقا . ويوضح المثال أيضا موضوعات الوحدة والنظام والتناسق .

وأساسى لفكرة عالم منظم بعض درجات الاستمرارية . فإذا تغير العالم كلية بصورة غريبة من لحظة لأخرى ، فسيعم الاضطراب . ونحن نرغب فى أن نطمئن إلى أن السيارة المنتظرة تظل منتظرة ، وأن الأثاث يظل فى مكانه عندما يرتب ، وأن الأرض لا تنقذف نحو الفضاء بين المجرات ، وهكذا . وخاصية المادة التى "تظل فى مكانها" خاصية أساسية جدا فى خبرتنا ونادرا ما نناقشها . وسوف يكون العالم رهيبا حقا إذا انفلتت الأجسام بسرعة من نفسها دون أية قوة دافعة .

ويمكننا أن نعمم هذا قليلا لأننا نعرف أن جسما لا يمكن أن يكون ثابتا إلا فى إطار إسناد واحد . وبشكل عام ، فإن جسما سيتحرك فى خط مستقيم ، دون تسارع، فى غياب قوة مستخدمة . ويتضمن قانون نيوتن للحركة هذه الحقيقة الأولية . وباستخدام كلمات نيوتن نفسه : " إن وصف الخطوط الصحيحة(أى المستقيمة) . . . التى تتأسس عليها الهندسة ، من شأن الميكانيكا . " والسؤال الذى نرغب فى توجيهه هنا ، كيف يحصل الجسم على هذه الأعجوبة الأساسية تماما لانتظام العالم . كيف يمكنه معرفة أى المسارات التى يتبعها ؟ كيف يكتشف الخط المستقيم ؟

والإجابة لها مصدرها ، سواء صدقتها أم لم تصدقها ، فى التأثيرات الكمية ، وعلى وجه الخصوص ، فى الطبيعة شبه الموجية لجسيمات الكم . وهذا الموضوع قد صادفنا قبلا فى الفصل الرابع . فقد عرف منذ فترة طويلة من دراسة علم البصريات

أن أشعة الضوء تنتقل أيضا فى خطوط مستقيمة . وهناك ، فى الواقع ، تماثل مشابه تماما بين حركة جسم مادى وحركة شعاع الضوء ، حتى فى ظروف أكثر تعقيدا حيث تكون القوى موجودة والمسارات منحنية . وفى الأساس ، كلاهما يخضعان لما قد يصطلح عليه بمبدأ الكسل ، فهما يتحركان بطريقة ما تقلل من نشاطهما الكلى . (ويمكن تحديد مستوى النشاط بدقة بطريقة رياضية لسنا فى حاجة لأن نشغل أنفسنا بها هنا .) وإلى حد ما ، فشعاع الضوء والجسم المادى كلاهما يتخذ المسار "الأسهل" المتاح . وتذكر أن الخط المستقيم هو أقصر مسافة بين نقطتين . ومع ذلك ، فالضوء يتكون من موجات ،بينما يعتبر الجسم المادى جسيم متميز أو مجموعة من الجسيمات .

وحدة المبدأ هذه بين الموجات والجسيمات توحى بتناسق عميق فى الطبيعة المتعلقة بالحركة . غير أن الطريقة التى تحقق بها الطبيعة حركة خط مستقيم لجسم مادى هى طريقة عبقرية على نحو رائع . وعلى المستوى الكمى ، لا يتبع جسيم مسارا دقيقا على الإطلاق ، ومن المؤكد ألا يكون خطا مستقيما . وبدلا من ذلك ، فحركته غامضة ومشوشة . كيف يمكننا أن ننشئ حركة الخط المستقيم المنظمة لجسم مرئى من سلوك كمى مشوش من ذراته المكونة ؟ وهنا ، يبدو أن الطبيعة تحول خطيئة إلى فضيلة . وكما أوضحنا فى الفصل الثانى ، يصل الجسيم من نقطة (A) إلى النقطة (B) عن طريق "التعرف بحذر" على كل المسارات الممكنة آنيا؛ وتذكر كيف يخترق فوتون واحد بطريقة ما كلا الكوتين فى تجربة التداخل ليونج . وبصورة أكثر شمولا ،يمكننا تخيل جسيما مثل الإليكترون يستكشف كل المسارات العويصة جدا والعديدة التى تصل ما بين نقطة رحيله ونقطة وصوله (انظر شكل 32) . ومن خلال مبدأ ديمقراطى ،يسهم كل مسار بشكل متساو فى الموجة الكلية التى تمثل الإليكترون ، والتى تشفر عن احتمالية أن يصل إلى هدف معين .

إنه فى تلك المرحلة تلعب الطبيعة الموجية الأساسية دورا . وكما ناقشنا فى الفصل الثانى تجربة تداخل يونج ، فإن الموجات عندما تتراكب يحدث " التداخل " . وإذا كانت الموجات متوافقة فى سيرها ، فإنها ستقوى ، وإذا كانت غير متوافقة فسوف تتلاشى . وعندما تتراكب مجموعة كبيرة من الموجات بصورة عشوائية ،تكون النتيجة إلغاء بالجملة . وهذا بالضبط ما يحدث فى المسارات الشائكة التى يتبعها الإليكترون . والموجات التى تتبع هذه المسارات تفنى بصورة جوهرية بعضها البعض من خلال

تداخل مدمر . والمسارات الوحيدة التى لا يحدث فيها هذا هى المسارات التى يحدث أن تتوافق فيها جميع الموجات مع بعضها البعض ، ومن ثم تقوى بدلا من أن تفنى . ولا تحدث التقوية إلا فى مسار خط مستقيم ، وبقدر محدود فى المسارات القريبة منه . ومن ثم فالمسار الأكثر احتمالا أن يتبعه الجسيم هو المسار الأقصر المتاح . والدرجة التى يحتمل أن يتجول بها جسيم فى مسار غير محدد عن المسار المستقيم والضيق تتحدد عن طريق كتلته . وبالنسبة لإليكترون ، تعتبر حركته شاذة جدا وغير محددة ، فى حين يعتبر جسيم أثقل أقل مخاطرة . وفى حالة جسم كبير مثل كرة البلياردو ، تكون الانحرافات عن مسار الخط المستقيم انحرافات ضئيلة . وبهذه الطريقة فإن مسار الخط المستقيم المحدد بشكل واضح يبقى على الميكانيكا التقليدية . وهكذا ، فمصدر السلوك المنتظم للأجسام الكبيرة قد يوجد فى فيزياء الكم التى تقوم عليها فى النهاية .

4 - تصميم من خالق مبدع :

رد الفعل الشائع بين الفيزيائيين على الاكتشافات الرائعة من النوع الذى ناقشناه سابقا ، هو مزيج من السرور على دقة وأناقة الطبيعة ، ومزيج من الذهول:" لم أفكر على الإطلاق أن أقوم بها بهذه الطريقة ." إذا كانت الطبيعة "ماهرة" جدا لاستطاعت استغلال الميكانيكا بحيث تبهرنا بعبقريتها ، أليست هذه دلالة مقنعة على وجود تصميم ذكى وراء العالم الفيزيائى ؟ إن أروع عقول العالم لا تستطيع أن تفسر أعمال الطبيعة إلا بصعوبة ، فكيف يمكن افتراض أن هذه الأعمال مجرد حادث لا حاجة فيه إلى عقل ، من فعل صدفة عمياء ؟

ومرة أخرى ، يعتبر تشبيه لغز الكلمات المتقاطعة مناسب هنا . فالكشف عن قوانين الفيزياء يشبه حل الكلمات المتقاطعة بعدد من الطرق . والطبيعة تمدنا "بمفتاح لحل اللغز " ،غالبا ما يكون خفيا ، وعادة ما يتضمن حل الألغاز على أشياء دقيقة . والقوانين لا تظهر من الفحص غير المقصود للعالم . والأحرى ، إنها تختفى وراء نشاط أكثر وضوحا ولا يمكن أن تكتشف إلا بالتنقيب تحت السطح . وقوانين الفيزياء الذرية أو النووية لن تظهر بدون تكنولوجيا خاصة وتجارب مصممة بطريقة دقيقة . وتواجهنا الطبيعة بشىء مثل مفتاح حل اللغز الخفى المعنى للكلمات المتقاطعة . ويتطلب حل الألغاز عبقرية مبدعة ، وممارسة وإلهام ، لأن الإجابات نادرا ما تكون واضحة .

وعندما تم حل " مفاتيح الألغاز " ، يبدأ نمط فى البروز . وكما فى الكلمات المتقاطعة ، حيث تتداخل الكلمات مع بعضها البعض بشكل متناسق وترتيب منظم ، فكذلك تتداخل قوانين الطبيعة مع بعضها بصورة متناسقة ، ونبدأ بعد ذلك فى تبين نظام الطبيعة الرائع الذى ألمحنا إليه من قبل فى هذا الفصل . والعالم يعتبر اتحاد آليات فيزيائية ، ولا يؤدى هذا الاتحاد إلى خليط عشوائى من التأثيرات ، مما قد يعتبر سهل جدا ، ولكن إلى تناسق منظم بصورة دقيقة .

وفى حالة الكلمات المتقاطعة ، لن يحدث لنا أن نفترض أن الكلمات قد جاءت فى نمط متداخل متسق عن طريق الصدفة ، وأن رقة وعبقرية مفاتيح الألغاز مجرد حقائق عمياء بلا معنى ، أو منتج من منتجات عقولنا تحاول أن تجد معنى فى معلومات عديمة المعنى . ومع ذلك فغالبا ما يصادف المرء تماما هذه المسائل المتعلقة بأعجوبة الطبيعة ، والتى تعتبر أكثر رقة وعبقرية بصورة طاغية من أى كلمات متقاطعة . وإذا كنا بعد ذلك لا نشك فى أن النظام والتناسق والهارمونية لكلمات متقاطعة يعنى ضمنيا أن اللغز هو نتاج عقل عبقرى مبتكر ، فلماذا يكون لهذه الشكوك صوت مسموع فى حالة الكون ؟ لماذا تعتبر دلالة التصميم ملزمة جدا فى إحدى الحالات وغير ملزمة فى الحالة الأخرى ؟

فى القرن التاسع ، استخدم رجال اللاهوت النظام والهارمونية فى الطبيعة بشكل متكرر كحجة على وجود مصمم فوق طبيعى . وكان من أكثر المناصرين الفصحاء لحجة التصميم هو ويليام بالى William Paley ، الذى استخدم تشبيها بين الآليات الطبيعية والساعة . واستدعى بالى واحدا ليدرس مسألة اكتشاف ساعة عن غير قصد ،وبعد فحص الآلية المعقدة لمكوناتها المتداخلة ، استنتج أنها من تصميم أحد العقول الذكية لغرض معين[1] . وبمقارنة الساعة بالعديد من الآليات شديدة الدقة والانضباط غير العادى الموجودة فى الطبيعة ، مثل الترتيب المنتظم للكواكب فى المجموعة الشمسية والتنظيم المعقد للمخلوقات الحية ، أعلن بالى أن الدلالة على وجود تصميم ذكى ما زال يظهر بصورة أكثر قوة من حالة الساعة .

وعلى الرغم من جاذبيتها الظاهرية ، فإن حجة بالى – والعديد من المحاولات التالية لاستنتاج وجود تصميم فى أعمال الطبيعة – فقد هاجمها الفلاسفة والعلماء هجوما عنيفا . وهناك ثلاثة دوافع لا تزال تستعرض حتى اليوم هى كالتالى: أننا

نضع نظاما للعالم لكى نفهمه؛ وأن التفكير متشعب ؛ وأن أى نظام لا يوجد فى الطبيعة هو نتيجة الصدفة العمياء وليس من التصميم .

أولا ، نحن نفرض نظام على العالم حتى نفهمه . والنقطة هنا هى أن العقل البشرى فى غاية المهارة لاكتشاف أنماط بين بيانات معقدة ، وهى خاصية يفترض أنها تضفى علينا مزايا كبيرة . ونحن نواجه على الدوام بمعلومات معقدة ،يجب أن ينظمها المخ بطريقة ما لكى نوظفها بطريقة فعالة . ومجموعات النجوم الثابتة الشهيرة ، حيث توجد توزيعات عشوائية من النجوم فى السماء أدركها أسلافنا على أنها أنماط متماسكة ، تعتبر مثالا رائعا للعقل المدرك للنظام حيث لا يوجد منها شىء . فلا توجد كوكبة الدب الأكبر ولا برج العذراء ولا برج العقرب؛ لا توجد هناك سوى نقاط عشوائية من الضوء .

وعلى الرغم من هذا ، فالحجة ليست مقنعة بالكامل عندما تطبق على العلم . فهناك طرق موضوعية لتحديد وجود النظام فى نظام فيزيائى . ونظام الكائنات الحية ، على سبيل المثال ، من الواضح أنه ليس شىء ملفق أو مختلق من خياليا . وعندما يتعلق الأمر بالفيزياء الأساسية ، تجد قوانين الطبيعة تعبيرا فى التركيبات الرياضية التى غالبا ما يعرفها الرياضيين جيدا قبل تطبيقها على العالم الحقيقى . والوصف الرياضى ليس مخترعا ببساطة ليعطى وصفا منهجيا للطبيعة . وغالبا ما يأتى التوفيق بين العالم وتركيب رياضى معين كمفاجأة كاملة . والنظام الرياضى يبرز كلما حلل النظام الفيزيائى .

وهناك مثال رائع يقدمه وصف الأحد عشر بعدا لقوى الطبيعة . فالأعجوبة الرياضية بأن نفس القوانين التى تحكم القوى يمكن التعبير عنها من خلال بعض الخصائص الهندسية المعقدة لفضاء متعدد الأبعاد يجب اعتبارها شىء مدهش . والنظام الذى ينكشف هنا لم يتم فرضه لكنه برز من تحليل رياضى مستفيض .

وليس هناك فيزيائى يعتقد فعلا أن موضوع مادته كان فى الحقيقة فوضى عديمة المعنى وبلا نظام ، وأن قوانين الفيزياء لا تمثل تقدما حقيقيا فى معرفتنا . وسيصبح من المضحك افتراض أن كل العلوم مجرد اختراع اصطناعى للعقل لا يمت بصلة أكبر للحقيقة مما تحمله علاقة كوكبة الحوت بالسمك الحقيقى .

والدافع الثانى هو أن التفكير متشعب . وأحيانا ما يعترض على أن وجود التصميم فى الكون يعتبر مبنيا على الفكرة الخاطئة لتفكير متأخر ، أو تفكير متخلف .

ولندرس ،على سبيل المثال ، الفقرة التالية من كتاب الحياة فيما وراء الأرض Life Beyond Earth لجيرالد فاينبرج Gerald Feinberg وروبرت شابيرو Robert Shapiro :

" إن جغرافى له وجهة نظر قدرية قد يصدم فى النهاية بمدى تلاؤم نهر الميسيسبى مع واديه ، فهو ينساب فى اتجاهه الصحيح تماما ، وخطوطه الكنتورية وراوفده مطلوبة بدقة لضمان تصريف المياه من وسط الولايات المتحدة إلى خليج المكسيك . وعند قيامه بهذا فإنه يمر بسلاسة بكل رصيف مرفأ وتحت كل قنطرة فى مساره . وقد يحاول الجغرافى أذن استبدال الميسيسبى افتراضيا بنهر الأمازون . وبوضع الأمازون على خريطة الولايات المتحدة ، فقد يلاحظ فى الحال أنه ينساب من الغرب للشرق . وهذا لن يجدى ، لأنه سيضطر للانسياب عبر الجبال . وحتى عندما يحول النهر فى الاتجاه الصحيح ، فسوف يلاحظ عدة صعوبات . سوف تغمر نيوأورليانز بدلتا الأمازون الكبيرة ، وسوف يغرق عدد لا نهائى من الطرق والمدن . وسوف يستنتج أن الأمازون كان غير مناسبا ، وأن الميسيسبى يتوافق بشكل رائع مع الغرض .

" دعنا نقيد الموقف بصورة أكبر . افترض أن الجغرافى لم تكن لديه معلومات عن نظم الأنهار الأخرى ، لكنه درس الميسيسبى بصورة مستفيضة . فسوف يلاحظ أن أى تغير كبير فى شكل النهر سيلحق ضررا ويحدث اضطرابات ، ويستنتج أن هذا الشكل كان هو الشكل الوحيد لنظام جيولوجى فعال . وإذا وجدت نظم أنهار أخرى ، فيجب أن يكون لها نفس الشكل العام . "

وهناك نقد مشابه كتبه رالف إيستلنج Ralph Estling فى مقالة حديثة بالنيو ساينتست :

" إن أساس الخلاف على الذكاء الفائق ، أو فوق الطبيعى هو المبدأ الأنثروبى ، التأكيد على أن الكون هو بالتمام نوع الكون الملاءم للإنسان ، الذى يجب أن يحتل موقعا من بين آلاف الصدف التى تعتبر أساسية تماما للإنسان ، أو بالفعل للحياة لأن تظهر . فلو حدث تغيير طفيف واحد من هذه الآلاف من الصدف الأساسية سوف يتغير

الكون الفيزيائى بصورة شديدة الأثر ، وربما يكون تغيرا كاملا . ومع ذلك ،فنزولا إلى الثوابت التركيبية الدقيقة التى تملى قوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة والشديدة ، وصعودا إلى الأشياء البيولوجية الضرورية الأساسية المقدمة ، نجد أن الكون بشكل عام ، وشمسنا على وجه الخصوص ، والأرض خاصة ، ملائمة بصورة دقيقة لنا ، حتى تبدو النتيجة لا مفر منها: فالله هو الذى جعل هذا الكون بهذه الصورة .

وقد لفت هؤلاء الكتاب الانتباه إلى أخطار التفكير بصورة متخلفة ، ولكن يجب على المرء ألا يستنتج أنه ليس دائما تفكير خادع . ومن اليسير إيجاد حالات تعمل بصورة رائعة . وحقا ، فنحن نستخدم هذا التفكير طوال الوقت فى حياتنا اليومية دون أن يصيبنا الإخفاق . ومن المؤكد أن بالى كان على حق فى افتراضه أن ساعة هى شيء من نتاج التصميم . والمهم هو أننا يجب أن نكون حريصون على تجنب الاستخدام غير الفطن للتفكير المتخلف .

كيف لنا أن نعرف عندما يحتمل أن يقودنا التفكير المتخلف إلى ضلال فيما يتعلق بالنظام فى العالم؟ والمحدد الأساسى هو التمييز بين نوعين مختلفين تماما من النظام. وهذا يضعنى أمام اعتراض ثالث ضد التصميم ، بأن أى نظام غير موجود فى الطبيعة هو حصيلة صدفة عمياء وليس من تصميم Gesign .

ومن غير شك ، فإن الاعتراض القوى يعتبر صحيح فى حالات عديدة ، وكان مسئولا إلى حد بعيد عن تخلى اللاهوتيين عن قضية التصميم . ومع ذلك ، فغالبا ما يطبق بطريقة غير مميزة ، دون التمييز بين معنيين مختلفين تماما لمفهوم " النظام " .

أحد معانى النظام هو التنظيم المعقد ، كما توضحه الكائنات العضوية . خذ ، على سبيل المثال ، العين البشرية . فهذه الآلية الرقيقة والمعقدة يبدو أنها قد صممت بدرجة شديدة الحساسية بهدف إمدادنا بالضوء . وترتيبة العدسة والشبكية منظمة بصورة ملاءمة كى تتوافق مع مبادئ الضوء الفيزيائية . والملايين العديدة من الخلايا التى تتكون منها العين والعصب البصرى كل منها متخصصة بدرجة شديدة لكى تؤدى وظيفة معينة ، لكى تتعاون مع جيرانها بطريقة محكمة ومنظمة . ومجموعة عشوائية من الخلايا ، ناهيك عن مجموعة عشوائية من الذرات ، لا يمكن أن تحقق " معجزة " الإبصار .

ولا ينكر البيولوجيون مستوى التكيف الفائق الذى تظهره العين ، أو أى عضو آخر . وعلى الرغم من هذا ، فهم ليسوا فى حاجة إلى افتراض أن العين قد صممت مقدما وتم تجميعها بوسائل فوق طبيعية . وتقدم نظرية التطور تفسيرا مرضيا بصورة صحيحة عن كيف جاءت العين البشرية إلى الوجود . ويقدم السجل الحفرى وعلم التشريح المقارن تصورا مفصلا عن الطريقة التى يمكن أن يتطور بها عضو معقد كالعين على مراحل طوال أجيال عديدة استجابة لمتطلبات التطور . والتغيرات الوراثية العشوائية – حصيلة الصدفة العمياء – تولد جميع طرق الاحتمالات ،وهؤلاء الذين يضفون ميزات على كائن عضوى تختارهم الطبيعة فى كفاح مستمر من أجل البقاء . وسوف يستكشف النوع قدر هائل من التغيرات المحتملة ،قبل أن يتصادف ويجد تغيرا ، بمحض الدفة تماما ، يحسن من تكيفه مع البيئة .

والتنظيم المعقد ، يمكن لذلك السبب أن ينشأ بصورة عفوية ، دون الحاجة إلى أية خطة أو تصميم سابق تقديره . ويتساوى فى أهمية نجاح هذه الإجراءات ، مع ذلك ، وجود مجموعة تؤلف كلا عضويا ، والتى أقصد بها مجموعة كبيرة من النظم المشابهة . وفى الحالة البيولوجية ، فإن آلاف الملايين من الكائنات العضوية وملايين الأجيال التى وجدت طوال تاريخ الأرض ،تشكل مجموعة تؤلف كلا عضويا . والمخزون الهائل من الجينات المشابهة الذى يقدمه العدد الوافر من الكائنات العضوية ، يمكن الطبيعة من أن "تجرب" بكل طرق البدائل المحتملة إلى أن يحدث أن تظهر ، بالصدفة ، طفرة ملائمة . وحينئذ ، يعزل الاختيار هذه الطفرة ويثبتها فى المخزون الجينى . وتراكم عدد لا نهائى من هذه التغيرات الصغيرة المتميزة ، ينشأ من تقدم بطىء ، آليات معقدة مثل العين .

وفى مقابل مفهوم النظام كتنظيم معقد ، هناك النظام الموجود فى التماثل والبساطة . هذا النوع من النظام يمكن أن يكون نظام مكانى وزمانى . والمثال الصادق على الأول ، تقدمه شبكة بلورية . ففى أية بلورة تثبت الذرات مع بعضها فى منظومة منتظمة تشكل نمطا هندسيا بسيطا ذا درجة تماثل عالية . وينعكس هذا النمط الذرى الأساسى من الأشكال المتماثلة التى تميل البلورات إلى إظهارها ، مثل الأشكال المكعبة لبلورات الملح . إنه هذا التماثل الذرى الذى يكون مسئولا فى النهاية عن الأشكال المنتظمة لبلورات الجليد . ومثال ثان للنظام المكانى هو ترتيب المجموعة الشمسية ،

التى تـدور فـيـهـا الكـواكب الكـرية القريبة فى مدارات شـبـه دائرية حـول الشـمس الشبه كروية .

وفى كلا من هذين المثالين يمكننا إرجاع مصدر النظام المكانى إلى التماثلات فى القوانين الأساسية للفيزياء التى تحكم النظم المعنية . وللعديد من النظم الفيزيائية حالات مستقرة تظهر درجة عالية من التماثل والبساطة . وبطبيعة الحال ، لا نزال فى حاجة إلى تفسير كيف جاءت النظم إلى هذه الحالات فى المقام الأول . أحد الأسباب هو أن الحالات المعقدة تميل إلى عدم الاستقرار . وحالة الطاقة الدنيا لذرة هيدروجين ، على سبيل المثال ،متماثلة كريا ،فى حين أن معظم الحالات المستثارة ليست كذلك . وبالمثل ، فشكل الاتزان لجسم سائل متجاذب(بدون دوران) ، هو كرة صحيحة . وقد رأينا كيف أنه قانون كونى للطبيعة أن تبحث النظم الفيزيائية عن حالات الطاقة الدنيا . فإذا بدأ نظام بطاقة زائدة (أى حالات مستثارة) فكل أنواع الآليات بصفة عامة توجد لكى تسلبه الطاقة . وإن آجلا أو عاجلا ، تستقر فى حالة الطاقة الدنيا ،والتى تعتبر بصفة عامة أبسطها . ولهذا السبب ، يعتبر النظام المكانى سمة للعالم . ومع ذلك ،فمن المهم تذكر أنها تدين بمصدرها إلى النظام المكانى الموجود بالفعل فى قوانين الفيزياء . ولو كانت قوة الجاذبية ،على سبيل المثال ، أكثر تعقيدا ،واعتمدت على اتجاه جسمين بمثل ما تعتمد على ابتعادهما ، فسوف تتبع الكواكب مدارات أكثر غرابة .

دعنا نعود إلى النظام الزمانى . ويتضح هذا النظام من خلال انتظامية العديد من العمليات الطبيعية : تكات الساعة ، وذبذبات ذرة ،ونمط الليل والنهار ، والشتاء والصيف . ومرة أخرى ، يمكن إرجاع هذه الأشياء المنتظمة إلى القوانين الأساسية للفيزياء ، التى تسمح مرارا بالسلوك الدورى البسيط . وحقا ، فـالحـركـة الـدوريـة ، أو الذبذبة ، ربما تكون المثال الأكثر انتشارا للنظام فى الفيزياء . وتقع الذبذبات شبه الموجية فى صميم كل الحركات الكمية؛ فالموجات الكهرومغناطيسية تحمل الحرارة والضوء عبر الكون ؛ وتتضمن الكواكب والنجوم والمجرات جميعها أشياء متحركة فى مدارات دورية خلال الفضاء .

وبالإضافة إلى الحركة المنتظمة للأجسام المادية فهناك نوع أعمق من النظام الزمانى فى العالم ، الذى يتضح فى فكرة قوانين الطبيعة ذاتها ، والذى غالبا ما يؤخذ تماما كأمر مسلم به . وحقيقة أنه توجد قوانين على الإطلاق يوحى بتناسق معين فى

العالم من لحظة لأخرى . وعند أكثر المستويات الأساسية ،يعنى هذا التناسق ببساطة أن الكون مستمر فى الوجود . وعلاوة على ذلك ، لا تتغير القوانين من زمن إلى زمن (إنها لن تعتبر قوانين إذا كانت تتغير) . وتتبع الأرض مسارا بيضاويا حول الشمس اليوم كما كانت من قبل منذ ملايين السنين .

فلا النظام المكانى ولا الزمانى يعتبر مجرد سمة تصادفية للعالم ؛ فكلاهما موجود فى القوانين الأساسية ذاتها . إنها القوانين التى تشتمل نظام مدهش للعالم ، فضلا عن التركيبات الفيزيائية الحقيقية . وهذه القوانين رائعة على نحو مضاعف ، لأنها تسمح بكلا من النظام المكانى والبساطة الزمانية ونظام التنظيم المعقد . ونفس مجموعة القوانين التى هى السبب فى الأشكال البسيطة للبلورات تسمح أيضا بنظم من التعقيد والصعوبة مثل الكائنات الحية . وبلا شك يمكن للمرء أن يتخيل كون ترتب فيه القوانين لدرجة أن الأنماط البسيطة من السلوك ،مثل الحركات المنتظمة للكواكب قد سمح بها ، ولكن لا يمكن أن يوجد فيها تركيبات معقدة بصورة مفرطة مثل البوليمرات ،ناهيك عن الـ D.N.A . حقا ، يبدو غير عاديا بالفعل أن مثل هذه القوانين البسيطة كتلك التى تعرضها الفيزياء الحديثة تسمح بالتنوع والتعقد للعالم الحقيقى . ومع ذلك ، فهذا هو واقع الحال .

5 - المعنى وراء الوجود :

من المهم أن نسأل كيف تسمح قوانين الفيزياء بوجود التركيبات المعقدة . ما درجة السلاسة التى يجب أن "تتناغم" بها هذه القوانين ؟

وفى مقالة شهيرة فى مجلة الطبيعة ، خلص الفزيائيان الفلكيان البريطانيان برنارد كار Bernard Carr ومارتين ريز Martin Rees إلى أن العالم حساس بصورة غير عادية حتى للتغيرات الدقيقة فى قوانين الفيزياء ، بحيث أنه لو تغيرت مجموعة قوانين معينة بطريقة ما ، فسوف يتغير الكون حتى يستحيل التعرف عليه .

ووجد كار وريز أن وجود التركيبات المعقدة يعتمد بصورة حساسة جدا على القيم العددية التى حددتها الطبيعة لما يسمى بالثوابت الأساسية ، الأرقام التى تحدد مستوى الظواهر الفيزيائية . ومن بين هذه الثوابت ، سرعة الضوء وكتل الجسيمات دون الذرية العديدة ، وبعض ثوابت "الازدواج" مثل الوحدة الأساسية للشحنة ، التى

تحدد مدى قوة تأثير مجالات القوة العديدة على المادة . وتحدد القيم العددية الحقيقية التى تتخذها هذه الكميات العديد من السمات العامة للعالم ، مثل حجوم الذرات والنوى والكواكب والنجوم ، وكثافة المادة الموجودة فى الكون ، وعمر النجوم وحتى طول قامة الحيوانات .

معظم التركيبات المعقدة الملحوظة فى الكون نتاج تنافس أو توازن بين قوى متنافسة . فالنجوم ، على سبيل المثال ، فى حين تبدو من الظاهر ساكنة ، إلا أنها فعلا ميدان تفاعل بين القوى الأربع . فالجاذبية تحاول سحق النجوم ، وتتصارع معها الطاقة الكهرومغناطيسية من خلال تقديم ضغط داخلى . وتنطلق الطاقة المحتواة من العمليات النووية التى شرعتها القوة الشديدة والضعيفة . وفى هذه الظروف ، بينما يحدث تنافس متداخل بصورة شديدة ، فإن بنية النظام تعتمد بدرجة حساسة على شدة القوى ، أو القيم العددية للثوابت الأساسية .

درس الفيزيائى الفلكى براندون كارتر Brandon Carter الميدان النجمى على نحو مفصل ، ووجد أن هناك دقة شديدة غير معقولة فى التوازن بين الجاذبية والكهرومغناطيسية داخل أى نجم . وتظهر الحسابات أن التغير فى شدة أى من القوى بجزء واحد فقط من 10^{40} سوف تحيق بنجوم كالشمس بكارثة .

والعديد من التركيبات الفيزيائية المهمة الأخرى شديدة الحساسية للتغيرات الطفيفة فى الشدة النسبية للقوى . وعلى سبيل المثال ، فلو زادت شدة القوة الشديدة بنسبة صغيرة لاستهلكت كل نوى الهيدروجين فى الكون فى الانفجار العظيم ، وتركت الكون خال من أكثر الوقود النجمى أهمية .

فى كتابى الكون التصادفى The Accidental Universe ، قمت بإجراء دراسة مكثفة لكل " الحوادث " والمصادفات الظاهرية التى يبدو أنها أساسية حتى توجد التركيبات المعقدة المهمة التى نلاحظها فى الكون . وقد حث عدم الاحتمال المطلق بأن هذه المصادفات المصيبة للغرض يمكن أن تكون نتيجة لسلسلة من الحوادث السعيدة الاستثنائية العديد من العلماء على الاتفاق مع تصريح هويل بأن " الكون هو مسألة مدبرة " .

والحياة تعتبر أعظم مثال على التنظيم المعقد فى الكون ، ولذا توجد أهمية خاصة بالسؤال عن كيف يعتمد وجودنا على الشكل الصحيح لقوانين الطبيعة . ومن المؤكد ، أن الإنسان يحتاج إلى ظروف خاصة جدا من أجل بقاؤه ، وأن أى تغير ضئيل فى

قوانين الفيزياء ، بما فيها التغيرات الطفيفة جدا فى القيم العددية فى الثوابت الأساسية ، سيبطل الحياة التى نعرفها . ومع ذلك ، فالسؤال الأكثر أهمية ، هو ما إذا كانت هذه التغيرات الطفيفة ستجعل أى شكل من أشكال الحياة مستحيلا . والإجابة عن هذا السؤال تعتبر صعبة بسبب غياب أى تعريف للحياة متفق عليه بشكل عام . ومع ذلك ، فإذا اتفقنا على أن الحياة تتطلب على الأقل وجود ذرات ثقيلة ، مثل الكربون، حينئذ يمكن أن توضع حدود صارمة على بعض الثوابت الأساسية . وعلى سبيل المثال ، فالقوة الضعيفة ، وهى القوة الدافعة وراء انفجارات السوبرنوفا التى تطلق العناصر الثقيلة إلى الفضاء بين النجمى ، لا يمكن أن تتغير شدتها كثيرا من قيمتها المرصودة ولا تزال تدمر النجوم بفعالية .

ويبدو أن النتيجة النهائية لهذه الدراسات أن العديد من التركيبات الفيزيائية المهمة فى الكون ، بما فيها الكائنات الحية ، تعتمد بدرجة أساسية على الشكل الصحيح لقوانين الفيزياء ، فلو خلق الكون بقوانين مختلفة اختلافا طفيفا ، فلن نكون موجودين هنا فقط (أو أى شىء آخر) لنراها ، بل أنه لا يحتمل أن توجد أية تركيبات معقدة على الإطلاق .

وأحيانا ما يعترض على أنه لو كانت قوانين الفيزياء مختلفة ، فإن ذلك يعنى أن التركيبات ستكون مختلفة ، وأنه فى حين أن الحياة التى نعرفها قد تكون مستحيلة ، فربما تخرج بعض صور أخرى من الحياة . ومع ذلك ، لم تحدث أية محاولة لتوضيح إن كانت التركيبات المعقدة بصفة عامة هى تركيبات حتمية ، أو حتى محتملة ، هى نتاج القوانين الطبيعية ، وتفيد جميع الدلائل حتى الآن على أن العديد من التركيبات المعقدة تعتمد بدرجة دقيقة على شكل القوانين الحالية . ومن المفيد أن نعتقد ، نتيجة لذلك ، بأن كونا معقدا لا يظهر إلى الوجود ، إلا إذا كانت قوانين الفيزياء شبيهة تماما بالقوانين الحالية .

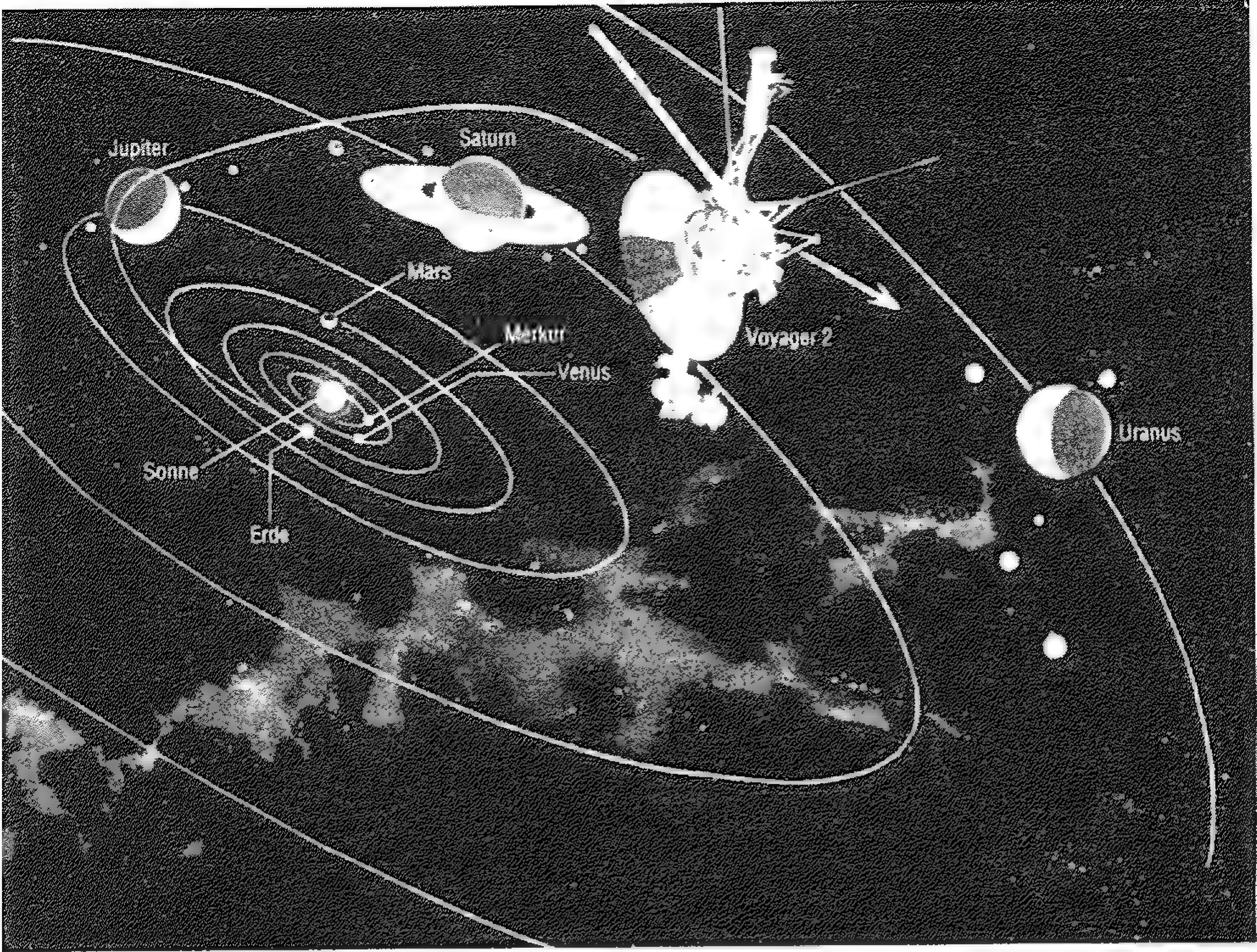
هل يجب أن نخلص إلى أن الكون نتاج تصميم ؟ تعطى الفيزياء الحديثة وعلم الكون وعدا مفعما بالأمل : أننا قد نصبح قادرين على تفسير كيف جاءت التركيبات الفيزيائية فى الكون إلى الوجود ، بصورة أوتوماتيكية كنتيجة للعمليات الفيزيائية . وعلى الرغم من هذا ، فمع أن العلم قد يفسر العالم ، فلا نزال فى حاجة إلى تفسير العلم . والقوانين التى تمكن الكون من الإتيان إلى الوجود تبدو أنها ناتج لتصميم عبقرى بصورة مفرطة . فإذا كانت الفيزياء نتاج تصميم ، فلا بد وأن يكون الكون له هدف .



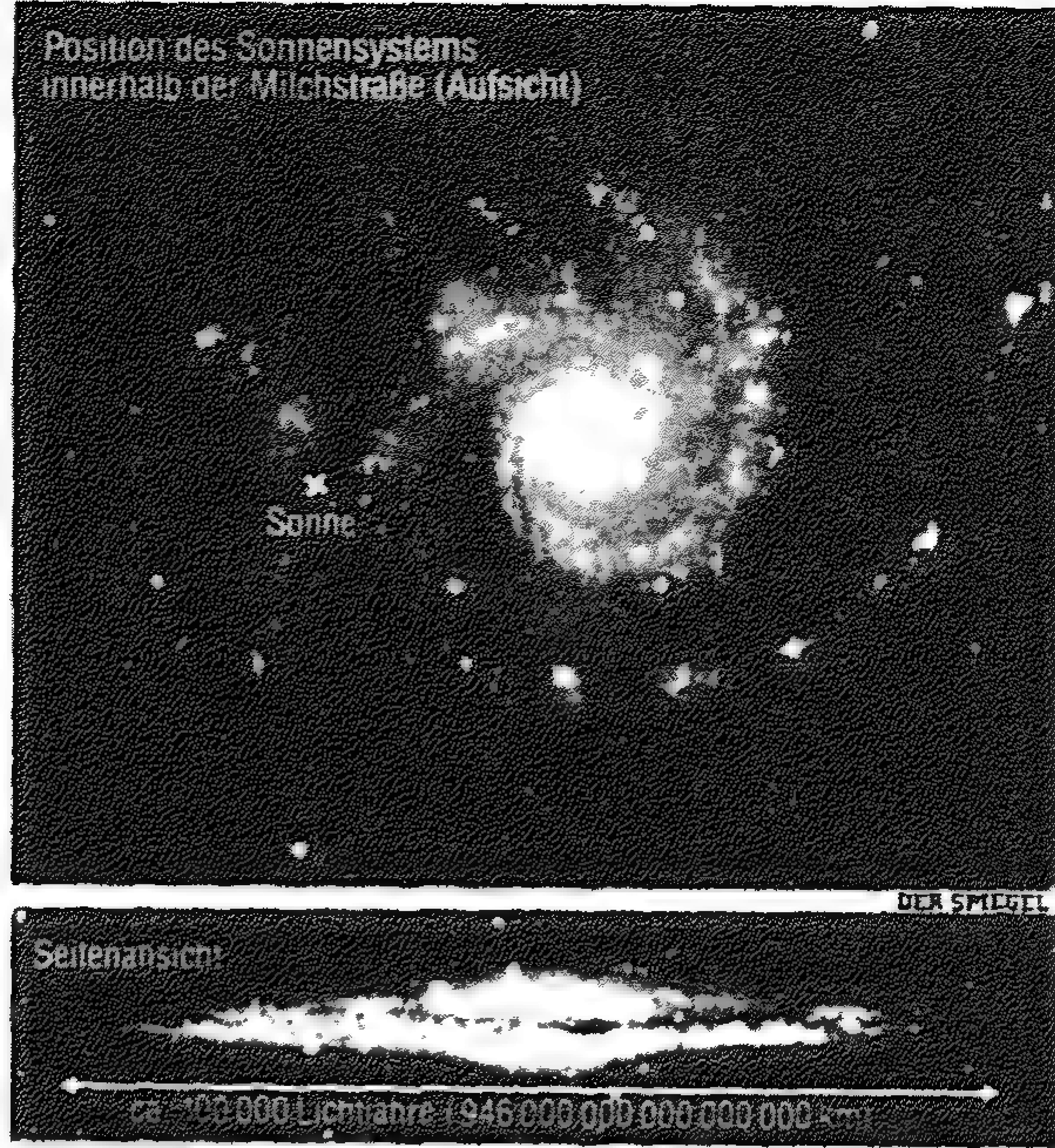
في عملية القوة الضعيفة هذه،يقابل نيوترونو (n) مع نيوترينو (ve)، ويتحولان إلى بروتون((p) وإليكترون (.(-e) ويكشف فحص دقيق على أن هذا التأثير يحدث عن طريق تبادل جسيم حامل للقوى ثقيل ومشحون ((-w)من النيوترون إلى النيوترينو. وتحـــدث -W تحولا للنيوترون إلى بروتون عن طريق تغيير نكهة أحد كواركاته من كوارك أسفل إلى كوارك أعلى في لحظة انبعاثه .



الوصف الكمى لتشتت جسيم مشحون يصور القوة على أنها منقولة بواسطة فوتون رسول أو تقديرى (خط متموج) متبادل بين الجسيمات .



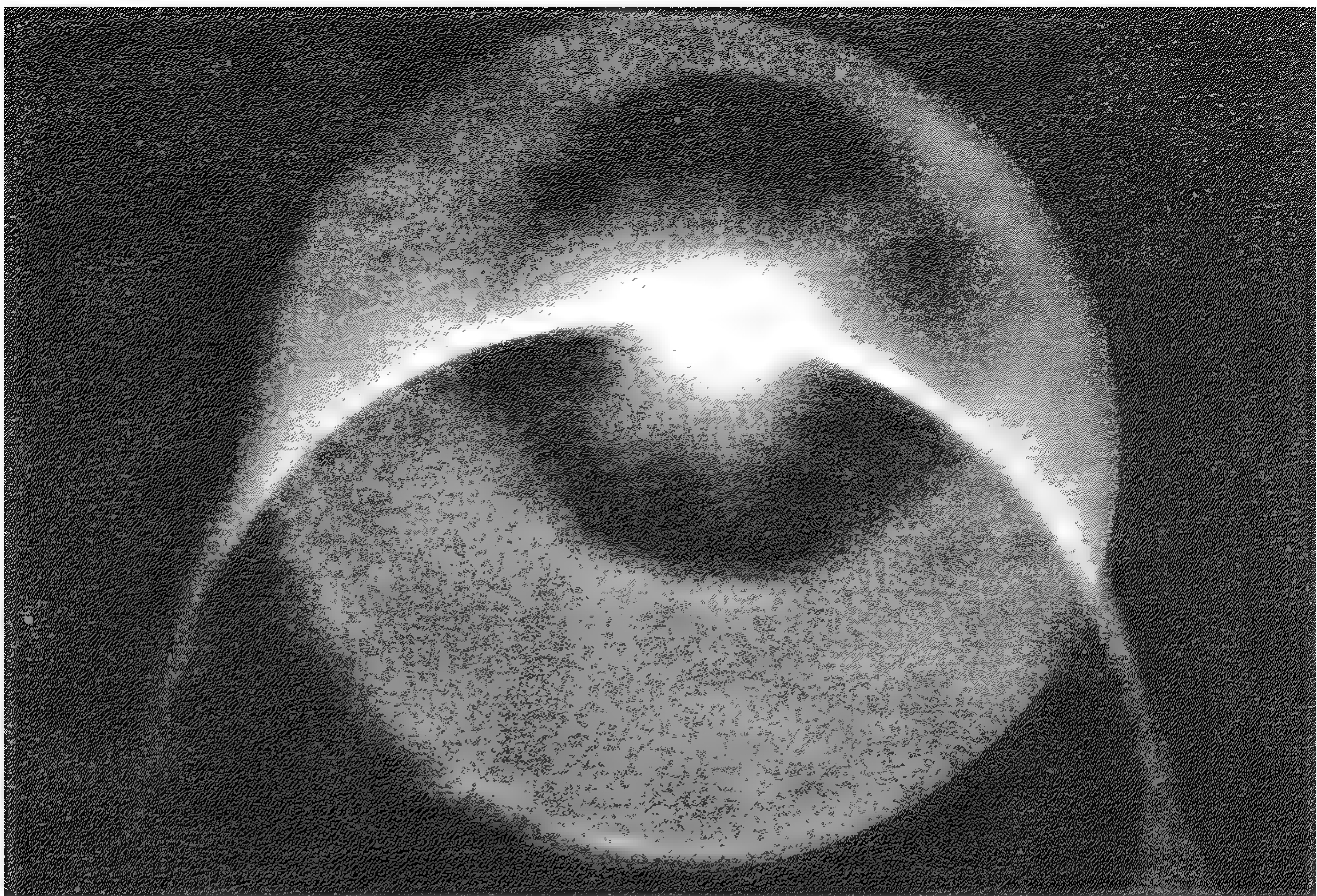
تمثيل تخطيطى لذرة . النواة المركزية التى تتكون من كرة مرتبط بها بشدة بروتونات ونيوترونات ، ويحيط بها سحابة من الإلكترونات الدوارة . وتنحصر معظم الكتلة داخل النواة . وبسبب التأثيرات الكمية ، فلا توجد للمدارات الإلكترونية مسارات محددة بدقة بصورة فعلية كما هو مبين بالشكل .



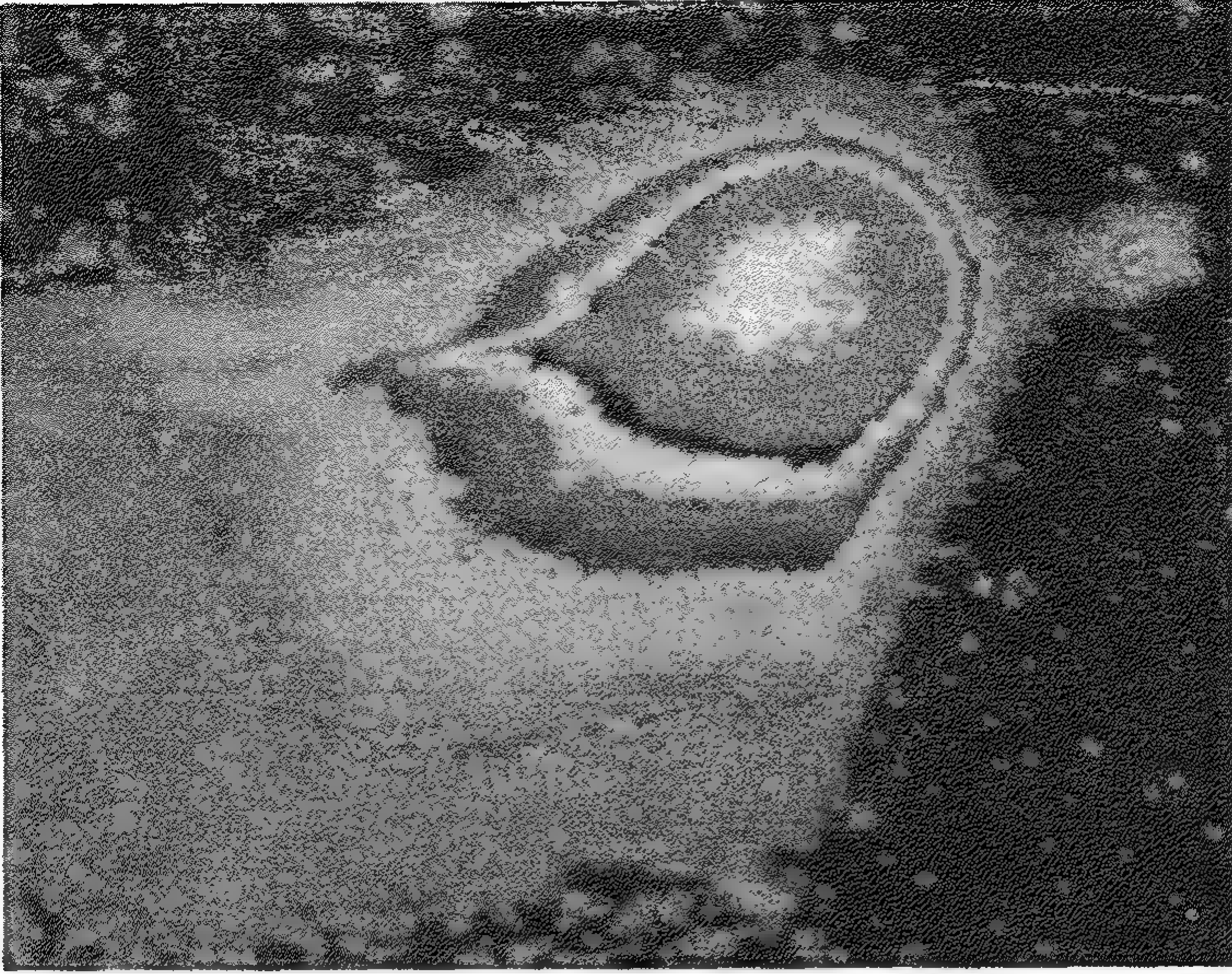
تفاعل معقد بين جسيمين نتيجة لتبادل فوتون حامل للقوى الذى يتفاعل مع جسيمات أخرى حاملة للقوى على الطريق .



ينحنــى شـعـاع ״ نجـمـى ״ بشكل ملحوظ عند مروره بالقرب من الشمس ،بسبب إلتــواء الـفــضـاء . ويــكـــون تأثـيـره إزاحة الموضــع الظاهرى للنجـم قليـلا فى السماء .



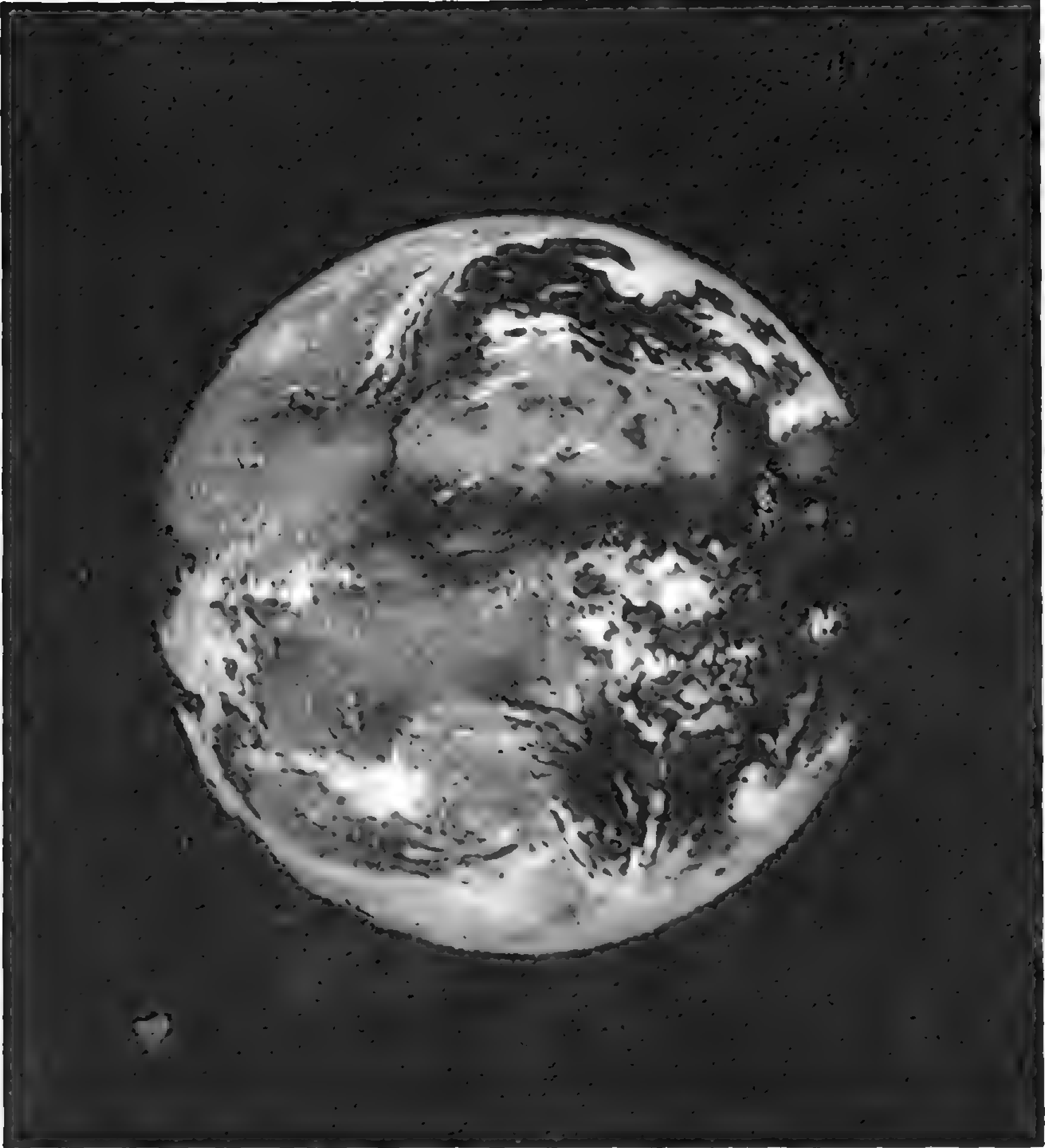
تعى حلقة مزدوجة من السلك تمثيلاً تقريبياً لخصائص الحركة للف حقيقى. فإذا انزلقت حبة العقد خلال 360 درجة فلن تعود إلى شكل البداية . ويستوجب هذا دورة 360 درجة أخرى . ومع ذلك ، لا تظهر هذه الخدعة من بعد .



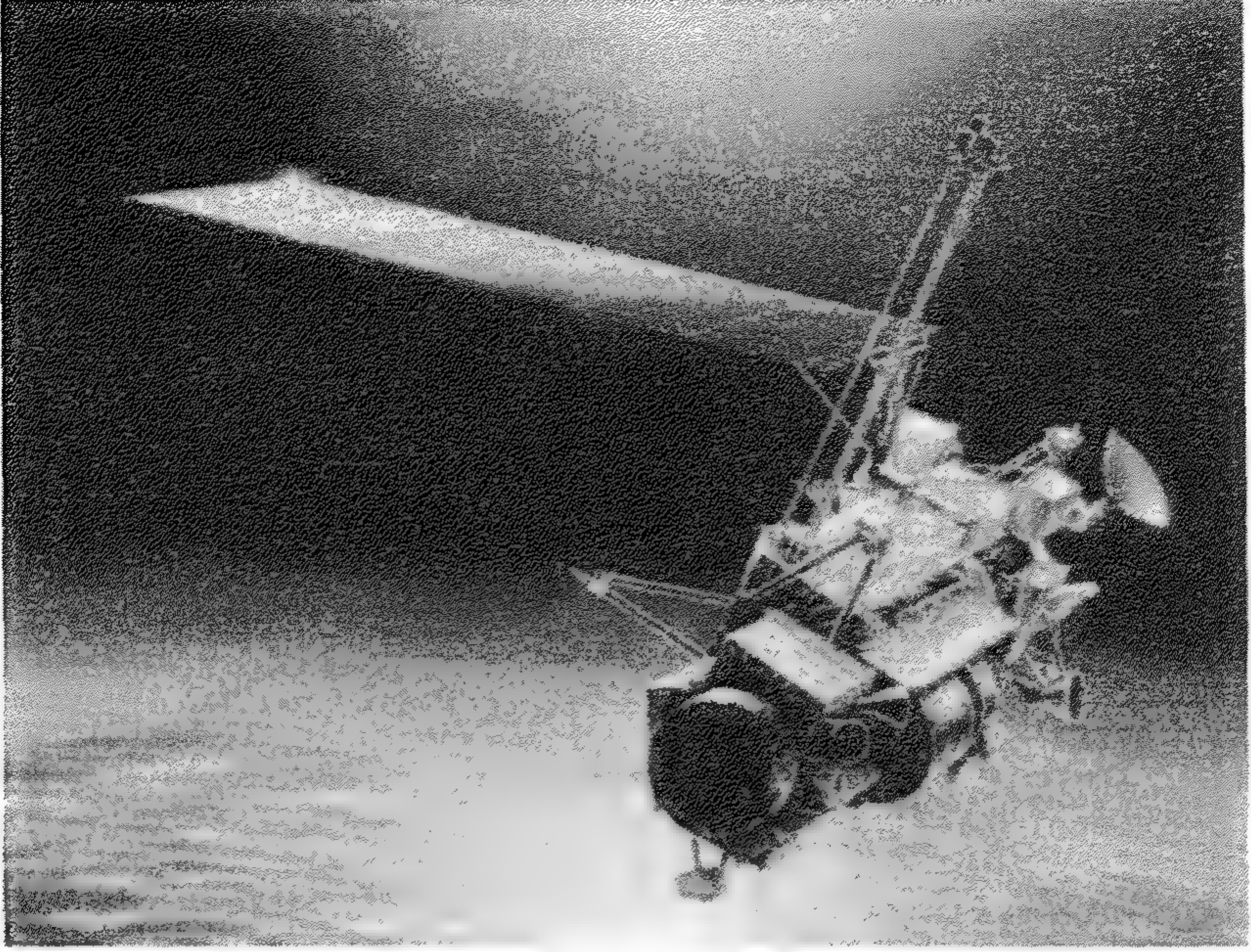
تتكون الهادرونات من كواركات. فالبروتون الموجود (على اليسار) يتكون من كواركين أعلى وكوارك واحد أسفل . وجسيم البيون الأخف (على اليمين) هو من عائلة الميزون ، يحتوى على كوارك أعلى وكوارك نقيض أسفل . وتشكل مجموعات الكوارك الباقية الأفراد الباقية لعائلة الهادرونات .



جسيم مشحون يبعث ثم يعيد امتصاص جسيمه حامل القوى . تـؤدى مثل هـذه العمليـات إلـى " تأثير ذاتى " ، تكسب الجسيم المشحون طاقة . ومـن الناحية الرياضية ، تكون الكمية الكليـة للطاقـة الناتجـة من كل هذه الحلـقات لا نهائية .



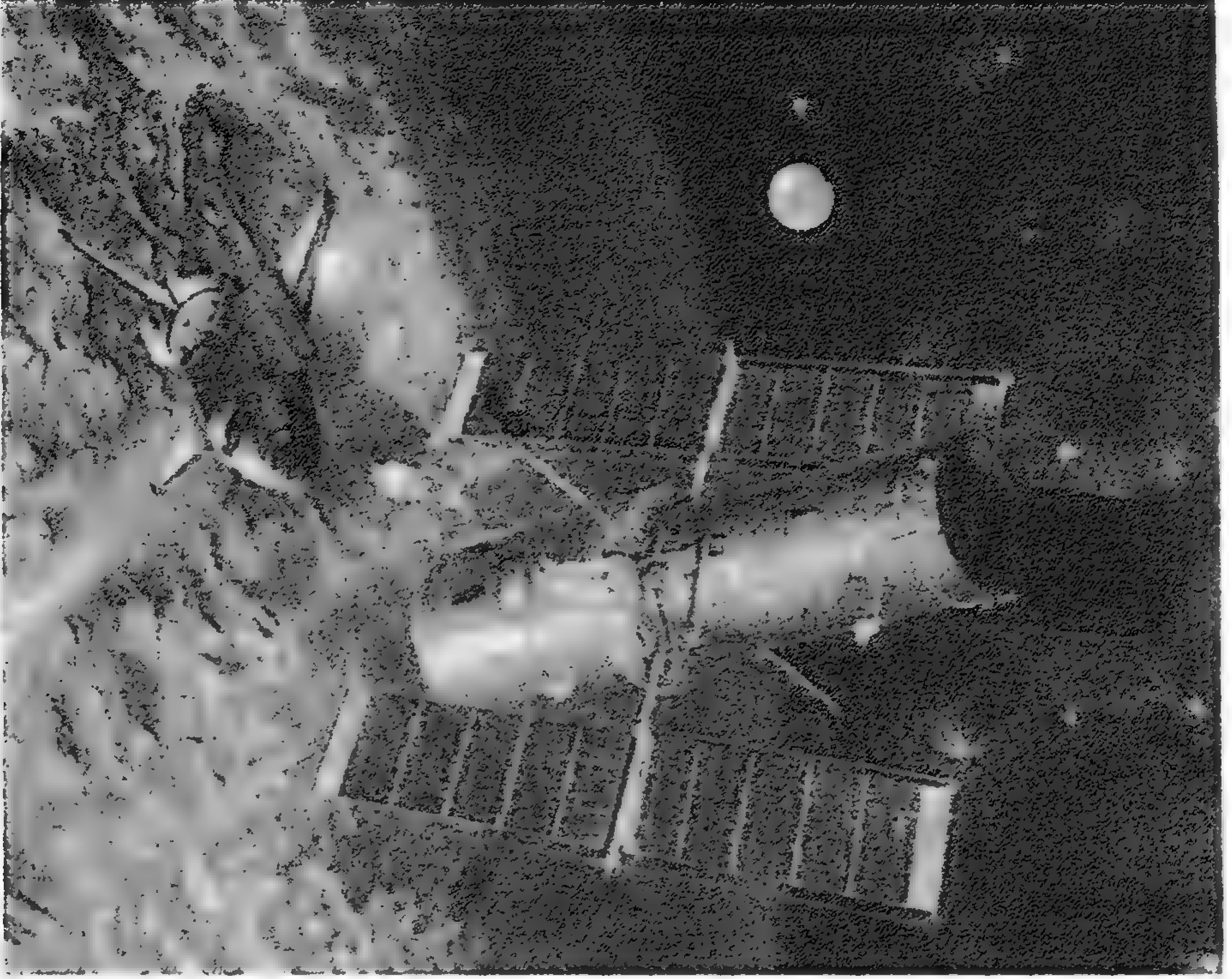
انقطاع تماثل تلقائى . توضع الكرة على قمة سطح " قبعة مكسيكية " وفى هذا الشكل يوجد تماثل دورانى كامل . .مع ذلك ، لايكون الشكل مستقرا وتتدحرج الكرة تلقائيا تحت حافة القبعة المستديرة ، وتستقر عند نقطة اعتبارية معينة . وعلى ذلك مفالتماثل الدورانى ينقطع . لقد قايض النظام التماثل بالاستقرار Stability .



إذا كان لدينا مؤشرين ،فيمكنْ أن يصف تشبيه المقبض السحرى تغير أوضاع البروتونات والنيوترونات. ويعمل المؤشر المظلل كما فى الشكل 8 فى حين يصف المؤشر غير المظلل التحول الآنى للنيوترونات إلى بروتونات. تصف الحالة (A) مجموعة البروتونات والنيوترونات التى نرصدها بالفعل. فى (B) تكتسب البروتونات خليطاً من "النيوترونية"، بينما تكتسب النيوترونات خليطاً مساوياً من "البروتونية". ومن خلال وضع المقبض كما فى (C) ، فإن جميع البروتونات الأصلية تتغير إلى نيوترونات ، وجميع النيوترونات تتحول إلى بروتونات . وبسبب التماثل المتأصل ،تكون القوى النووية مستقلة عن موضع المقبض.



استطارة جسيمين مشحونين يرسم من خلال مساراتهما المنحنية بعيدا عن بعضها بعضاً من موضع متقارب،نتيجة لقوة الطرد الكهربى .



MAQUETTE DU TÉLESCOPE SPATIAL AMÉRICAIN HUBBLE

10 milliards de francs

مقبض سحرى مزود بثلاث مؤشرات تمثل التماثل القياسى الأكثر اتقانا المصاحب للون الكوارك ، ولا تتغير قوة الكوارك الضمنى (الجليون) بدورانات المقبض ، التى تدمج ألوان الكوارك الأحمر (R) والأزرق (B) والأخضر (G) .

المترجم

مهندس هاشم أحمد محمد من مواليد السويس عام ١٩٥٠ .

حصل على بكالوريوس الهندسة المدنية عام ١٩٧٥ .

عمل بالعديد من شركات المقاولات والمكاتب الهندسية الأستشارية .

درس الترجمة التحريرية فى الجامعة الأمريكية بالقاهرة . وقام بترجمة العديد من الكتب العلمية ، كما قام بترجمة كتاب قراءة فى مستقبل العالم ونال عنه جائزة السيدة سوزان مبارك فى مهرجان القراءة للجميع عام ١٩٩٦ .

كما قام بترجمة سلسلة علوم وعلماء فى ستة عشر عنوانًا عام ١٩٩٦ من دار نشر هلايوك شوب له سلسلة سين وجيم من ستة أجزاء عام ١٩٩٧ إصدار الهيئة العامة للكتاب .

المشروع القومى للترجمة

المشروع القومى للترجمة مشروع تنمية ثقافية بالدرجة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .

٢- التوازن بين المعارف الإنسانية فى المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .

٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .

٤- ترجمة الأصول المعرفية التى أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعى فى الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنباً إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .

٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .

٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومى للترجمة

١ - اللغة العليا (طبعة ثانية)	جون كوين	ت : أحمد درويش
٢ - الوثنية والإسلام	ك. مادهو بانيكار	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣ - التراث المسروق	جورج جيمس	ت : شوقى جلال
٤ - كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريتنكوفا	ت : أحمد الحضرى
٥ - ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	ت : محمد علاء الدين منصور
٦ - اتجاهات البحث اللسانى	ميلكا إفيتش	ت : سعد مصلوح / وفاء كامل فايد
٧ - العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	ت : يوسف الأنطكى
٨ - مشعلو الحرائق	ماكس فريش	ت : مصطفى ماهر
٩ - التغيرات البيئية	أندرو س. جودى	ت : محمود محمد عاشور
١٠ - خطاب الحكاية	جيرار جينيت	ت : محمد معتصم وعبد الجليل الأزدى وعمر حلى
١١ - مختارات	فيسوافا شيمبوريسكا	ت : هناء عبد الفتاح
١٢ - طريق الحرير	ديفيد براونيستون وايرين فرانك	ت : أحمد محمود
١٣ - ديانة الساميين	روبرتسن سميث	ت : عبد الوهاب علوب
١٤ - التحليل النفسى والأدب	جان بيلمان نويل	ت : حسن المودن
١٥ - الحركات الفنية	إدوارد لويس سميث	ت : أشرف رفيق عفيفى
١٦ - أثينة السوداء	مارتن برنال	ت : بإشراف / أحمد عتمان
١٧ - مختارات	فيليب لاركين	ت : محمد مصطفى بدوى
١٨ - الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية	مختارات	ت : طلعت شاهين
١٩ - الأعمال الشعرية الكاملة	جورج سفيريس	ت : نعيم عطية
٢٠ - قصة العلم	ج. ج. كراوثر	ت: يمنى طريف الخولى / بدوى عبد الفتاح
٢١ - خوخة وألف خوخة	صمد بهرنجى	ت : ماجدة العنانى
٢٢ - مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	ت : سيد أحمد على الناصرى
٢٣ - تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	ت : سعيد توفيق
٢٤ - ظلال المستقبل	باتريك بارندر	ت : بكر عباس
٢٥ - مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦ - دين مصر العام	محمد حسين هيكل	ت : أحمد محمد حسين هيكل
٢٧ - التنوع البشرى الخلاق	مقالات	ت : نخبة
٢٨ - رسالة فى التسامح	جون لوك	ت : منى أبو سنه
٢٩ - الموت والوجود	جيمس ب. كارس	ت : بدر الديب
٣٠ - الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو بانيكار	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣١ - مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه - كلود كاين	ت : عبد الستار الحلوجى / عبد الوهاب علوب
٣٢ - الانقراض	ديفيد روس	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣ - التاريخ الاقتصادى لإفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣٤ - الرواية العربية	روجر آلن	ت : حصة إبراهيم المنيف
٣٥ - الأسطورة والحداثة	بول . ب . ديكسون	ت : خليل كلفت

٣٦ – نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	ت : حياة جاسم محمد
٣٧ – واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	ت : جمال عبد الرحيم
٣٨ – نقد الحداثة	آلن تورين	ت : أنور مغيث
٣٩ – الإغريق والحسد	بيتر والكوت	ت : منيرة كروان
٤٠ – قصائد حب	آن سكستون	ت : محمد عيد إبراهيم
٤١ – ما بعد المركزية الأوربية	بيتر جران	ت : عاطف أحمد / إبراهيم فتحى / محمود ماجد
٤٢ – عالم ماك	بنجامين باربر	ت : أحمد محمود
٤٣ – اللهب المزدوج	أوكتافيو پاث	ت : المهدى أخريف
٤٤ – بعد عدة أصياف	ألدوس هكسلى	ت : مارلين تادرس
٤٥ – التراث المغدور	روبرت ج دنيا – جون ف أ فاين	ت : أحمد محمود
٤٦ – عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	ت : محمود السيد على
٤٧ – تاريخ النقد الأدبى الحديث (١)	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨ – حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ت : ماهر جويجاتى
٤٩ – الإسلام فى البلقان	هـ . ت . نوريس	ت : عبد الوهاب علوب
٥٠ – ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	ت : محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطكى
٥١ – مسار الرواية الإسبانو أمريكية	داريو بيانويبا وخ. م بينياليستى	ت : محمد أبو العطا
٥٢ – العلاج النفسى التدعيمى	بيتر . ن . نوفاليس وستيفن . ج . روجسيفيتز وروجر بيل	ت : لطفى فطيم وعادل دمرداش
٥٣ – الدراما والتعليم	أ . ف . ألنجتون	ت : مرسى سعد الدين
٥٤ – المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	ت : محسن مصيلحى
٥٥ – ما وراء العلم	چون بولكنجهوم	ت : على يوسف على
٥٦ – الأعمال الشعرية الكاملة (١)	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمود على مكى
٥٧ – الأعمال الشعرية الكاملة (٢)	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمود السيد ، ماهر البطوطى
٥٨ – مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمد أبو العطا
٥٩ – المحبرة	كارلوس مونييث	ت : السيد السيد سهيم
٦٠ – التصميم والشكل	جوهانز ايتين	ت : صبرى محمد عبد الغنى
٦١ – موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور – سميث	مراجعة وإشراف : محمد الجوهرى
٦٢ – لذّة النّص	رولان بارت	ت : محمد خير البقاعى .
٦٣ – تاريخ النقد الأدبى الحديث (٢)	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤ – برتراند راسل (سيرة حياة)	آلان وود	ت : رمسيس عوض .
٦٥ – فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	ت : رمسيس عوض .
٦٦ – خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	ت : عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧ – مختارات	فرناندو بيسوا	ت : المهدى أخريف
٦٨ – نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالنتين راسبوتين	ت : أشرف الصباغ
٦٩ – العالم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	ت : أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠ – ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجث	ت : عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١ – السيدة لا تصلح إلا للرمى	داريو فو	ت : حسين محمود

٧٢ – السياسى العجوز	ت . س . إليوت	ت : فؤاد مجلى
٧٣ – نقد استجابة القارئ	چين . ب . توميكنز	ت : حسن ناظم وعلى حاكم
٧٤ – صلاح الدين والمماليك فى مصر	ل . ا . سيمينوڤا	ت : حسن بيومى
٧٥ – فن التراجم والسير الذاتية	أندريه موروا	ت : أحمد درويش
٧٦ – چاك لاكان وإغواء التحليل النفسى	مجموعة من الكتاب	ت : عبد المقصود عبد الكريم
٧٧ – تاريخ النقد الأدبى الحديث ج ٢	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٧٨ – العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	رونالد روبرتسون	ت : أحمد محمود ونورا أمين
٧٩ – شعرية التأليف	بوريس أوسبنسكى	ت : سعيد الغانمى وناصر حلاوى
٨٠ – بوشكين عند «نافورة الدموع»	ألكسندر بوشكين	ت : مكارم الغمرى
٨١ – الجماعات المتخيلة	بندكت أندرسن	ت : محمد طارق الشرقاوى
٨٢ – مسرح ميجيل	ميجيل دى أونامونو	ت : محمود السيد على
٨٣ – مختارات	غوتفريد بن	ت : خالد المعالى
٨٤ – موسوعة الأدب والنقد	مجموعة من الكتاب	ت : عبد الحميد شيحة
٨٥ – منصور الحلاج (مسرحية)	صلاح زكى أقطاى	ت : عبد الرازق بركات
٨٦ – طول الليل	جمال مير صادقى	ت : أحمد فتحى يوسف شتا
٨٧ – نون والقلم	جلال آل أحمد	ت : ماجدة العنانى
٨٨ – الابتلاء بالتغرب	جلال آل أحمد	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٨٩ – الطريق الثالث	أنتونى جيدنز	ت : أحمد زايد ومحمد محيى الدين
٩٠ – وسم السيف (قصص)	نخبة من كُتاب أمريكا اللاتينية	ت : محمد إبراهيم مبروك
٩١ – المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	باربر الاسوستكا	ت : محمد هناء عبد الفتاح
٩٢ – أساليب ومضامين المسرح الإسبانوأمريكى المعاصر	كارلوس ميجل	ت : نادية جمال الدين
٩٣ – محدثات العولمة	مايك فيذرستون وسكوت لاش	ت : عبد الوهاب علوب
٩٤ – الحب الأول والصحبة	صمويل بيكيت	ت : فوزية العشماوى
٩٥ – مختارات من المسرح الإسبانى	أنطونيو بويرو باييخو	ت : سرى محمد محمد عبد اللطيف
٩٦ – ثلاث زنبقات ووردة	قصص مختارة	ت : إدوار الخراط
٩٧ – هوية فرنسا (مج ١)	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
٩٨ – الهم الإنسانى والابتزاز الصهيونى	نماذج ومقالات	ت : أشرف الصباغ
٩٩ – تاريخ السينما العالمية	ديڤيد روبنسون	ت : إبراهيم قنديل
١٠٠ – مساءلة العولمة	بول هيرست وجراهام تومبسون	ت : إبراهيم فتحى
١٠١ – النص الروائى (تقنيات ومناهج)	بيرنار فاليط	ت : رشيد بنحدو
١٠٢ – السياسة والتسامح	عبد الكريم الخطيبى	ت : عز الدين الكتانى الإدريسى
١٠٣ – قبر ابن عربى يليه آياء	عبد الوهاب المؤدب	ت : محمد بنيس
١٠٤ – أوبرا ماهوجنى	برتولت بريشت	ت : عبد الغفار مكاوى
١٠٥ – مدخل إلى النص الجامع	چيرارچينيت	ت : عبد العزيز شبيل
١٠٦ – الأدب الأندلسى	د. ماريا خيسوس روبييرامتى	ت : أشرف على دعدور
١٠٧ – صورة الفدائى فى الشعر الأمريكى المعاصر	نخبـة	ت : محمد عبد الله الجعيدى

١٠٨ – ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسي	مجموعة من النقاد	ت : محمود علي مكي
١٠٩ – حروب المياه	جون بولوك وعادل درويش	ت : هاشم أحمد محمد
١١٠ – النساء في العالم النامي	حسنة بيجوم	ت : منى قطان
١١١ – المرأة والجريمة	فرانسيس هيندسون	ت : ريهام حسين إبراهيم
١١٢ – الاحتجاج الهادئ	أرلين علوي ماكليود	ت : إكرام يوسف
١١٣ – راية التمرد	سادي پلانت	ت : أحمد حسان
١١٤ – مسرحيتا حصاد كونجي وسكان المستنقع	وول شوينكا	ت : نسيم مجلي
١١٥ – غرفة تخص المرء وحده	فرجينيا وولف	ت : سمية رمضان
١١٦ – امرأة مختلفة (درية شفيق)	سينثيا نلسون	ت : نهاد أحمد سالم
١١٧ – المرأة والجنوسة في الإسلام	ليلى أحمد	ت : منى إبراهيم ، وهالة كمال
١١٨ – النهضة النسائية في مصر	بث بارون	ت : لميس النقاش
١١٩ – النساء والأسرة وقوانين الطلاق	أميرة الأزهري سنبل	ت : بإشراف/ رؤوف عباس
١٢٠ – الحركة النسائية والتطور في الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	ت : نخبة من المترجمين
١٢١ – الدليل الصغير في كتابة المرأة العربية	فاطمة موسى	ت : محمد الجندي ، وإيزابيل كمال
١٢٢ –نظام العبودية القديم ونموذج الإنسان	جوزيف فوجت	ت : منيرة كروان
١٢٣ –الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	نيتل الكسندر وفنادولينا	ت: أنور محمد إبراهيم
١٢٤ – الفجر الكاذب	جون جراي	ت : أحمد فؤاد بلبع
١٢٥ – التحليل الموسيقي	سيدريك ثورپ ديفي	ت : سمحه الخولي
١٢٦ – فعل القراءة	ڤولفانج إيسر	ت : عبد الوهاب علوب
١٢٧ – إرهاب	صفاء فتحي	ت : بشير السباعي
١٢٨ – الأدب المقارن	سوزان باسنيت	ت : أميرة حسن نويرة
١٢٩ – الرواية الاسبانية المعاصرة	ماريا دولورس أسيس جاروته	ت : محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠ – الشرق يصعد ثانية	أندريه جوندر فرانك	ت : شوقي جلال
١٣١ – مصر القديمة (التاريخ الاجتماعي)	مجموعة من المؤلفين	ت : لويس بقطر
١٣٢ – ثقافة العولمة	مايك فيذرستون	ت : عبد الوهاب علوب
١٣٣ – الخوف من المرايا	طارق علي	ت : طلعت الشايب
١٣٤ – تشريح حضارة	باري ج. كيمب	ت : أحمد محمود
١٣٥ – المختار من نقد ت. س. إليوت (ثلاثة أجزاء)	ت. س. إليوت	ت : ماهر شفيق فريد
١٣٦ – فلاحو الباشا	كينيث كونو	ت : سحر توفيق
١٣٧ – مذكرات ضابط في الحملة الفرنسية	جوزيف ماري مواريه	ت : كاميليا صبحي
١٣٨ – عالم التليفزيون بين الجمال والعنف	إيڤلينا تاروني	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩ – پارسيفال	ريشارد فاجنر	ت : مصطفى ماهر
١٤٠ – حيث تلتقي الأنهار	هربرت ميسن	ت : أمل الجبوري
١٤١ – اثنتا عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	ت : نعيم عطية
١٤٢ – الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	ت : حسن بيومي
١٤٣ – قضايا التنظير في البحث الاجتماعي	ديريك لايدار	ت : عدلي السمري
١٤٤ – صاحبة اللوكاندة	كارلو جولدوني	ت : سلامة محمد سليمان

١٤٥ – موت أرتيميو كروث	كارلوس فوينتس	ت : أحمد حسان
١٤٦ – الورقة الحمراء	ميجيل دى ليبس	ت : على عبد الرؤوف البمبى
١٤٧ – خطبة الإدانة الطويلة	تانكريد دورست	ت : عبد الغفار مكاوى
١٤٨ – القصة القصيرة (النظرية والتقنية)	إنريكى أندرسون إمبرت	ت : على إبراهيم على منوفى
١٤٩ – النظرية الشعرية عند إليوت وأدونيس	عاطف فضول	ت : أسامة إسبر
١٥٠ – التجربة الإغريقية	روبرت ج. ليتمان	ت: منيرة كروان
١٥١ – هوية فرنسا (مج ٢ ، ج ١)	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
١٥٢ – عدالة الهنود وقصص أخرى	نخبة من الكُتاب	ت : محمد محمد الخطابى
١٥٣ – غرام الفراعنة	فيولين فانويك	ت : فاطمة عبد الله محمود
١٥٤ – مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	ت : خليل كلفت
١٥٥ – الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة من الشعراء	ت : أحمد مرسى
١٥٦ – المدارس الجمالية الكبرى	جى أنبال وآلان وأوديت ڤيرمو	ت : مى التلمسانى
١٥٧ – خسرو وشيرين	النظامى الكنوجى	ت : عبد العزيز بقوش
١٥٨ – هوية فرنسا (مج ٢ ، ج٢)	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
١٥٩ – الإيديولوجية	ديڤيد هوكس	ت : إبراهيم فتحى
١٦٠ – آلة الطبيعة	بول إيرليش	ت : حسين بيومى
١٦١ – من المسرح الإسبانى	اليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	ت : زيدان عبد الحليم زيدان
١٦٢ – تاريخ الكنيسة	يوحنا الأسيوى	ت : صلاح عبد العزيز محجوب
١٦٣ – موسوعة علم الاجتماع ج ١	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
١٦٤ – شامپوليون (حياة من نور)	چان لاكوتير	ت : نبيل سعد
١٦٥ – حكايات الثعلب	أ . ن أفانا سيفا	ت : سهير المصادفة
١٦٦ – العلاقات بين المتدينين والعلمانيين فى إسرائيل	يشعياهو ليڤمان	ت : محمد محمود أبو غدير
١٦٧ – فى عالم طاغور	رابندرانات طاغور	ت : شكرى محمد عياد
١٦٨ – دراسات فى الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	ت : شكرى محمد عياد
١٦٩ – إبداعات أدبية	مجموعة من المبدعين	ت : شكرى محمد عياد
١٧٠ – الطريق	ميغيل دليبيس	ت : بسام ياسين رشيد
١٧١ – وضع حد	فرانك بيجو	ت : هدى حسين
١٧٢ – حجر الشمس	مختارات	ت : محمد محمد الخطابى
١٧٣ – معنى الجمال	ولتر ت . ستيس	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤ – صناعة الثقافة السوداء	ايليس كاشمور	ت : أحمد محمود
١٧٥ – التليفزيون فى الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦ – نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	ت : جلال البنا
١٧٧ – أنطون تشيخوف	هنرى تروايا	ت : حصة إبراهيم منيف
١٧٨ – مختارات من الشعر اليونانى الحديث	نخبة من الشعراء	ت : محمد حمدى إبراهيم
١٧٩ – حكايات أيسوب	أيسوب	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠ – قصة جاويد	إسماعيل فصيح	ت : سليم عبدالأمير حمدان
١٨١ – النقد الأدبى الأمريكى	فنسنت . ب . ليتش	ت : محمد يحيى

١٨٢ – العنف والنبوءة	و . ب . بيتس	ت : ياسين طه حافظ
١٨٣ – چان كوكتو على شاشة السينما	رينيه چيلسون	ت : فتحى العشرى
١٨٤ – القاهرة .. حالمة لا تنام	هانز إيندورفر	ت : دسوقى سعيد
١٨٥ – أسفار العهد القديم	توماس تومسن	ت : عبد الوهاب علوب
١٨٦ – معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل أنوود	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧ – الأرضة	بُزُرْج علَوى	ت : علاء منصور
١٨٨ – موت الأدب	ألڤين كرنان	ت : بدر الديب
١٨٩ – العمى والبصيرة	پول دى مان	ت : سعيد الغانمى
١٩٠ – محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	ت : محسن سيد فرجانى
١٩١ – الكلام رأسمال	الحاج أبو بكر إمام	ت : مصطفى حجازى السيد
١٩٢ – سياحتنامه إبراهيم بيك	زين العابدين المراغى	ت : محمود سلامة علاوى
١٩٣ – عامل المنجم	بيتر أبراهامز	ت : محمد عبد الواحد محمد
١٩٤ – مختارات من النقد الأنجلو-أمريكي	مجموعة من النقاد	ت : ماهر شفيق فريد
١٩٥ – شتاء ٨٤	إسماعيل فصيح	ت : محمد علاء الدين منصور
١٩٦ – المهلة الأخيرة	فالنتين راسبوتين	ت : أشرف الصباغ
١٩٧ – الفاروق	شمس العلماء شبلى النعمانى	ت : جلال السعيد الحفناوى
١٩٨ – الاتصال الجماهيرى	إدوين إمرى وآخرون	ت : إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩ – تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية	يعقوب لانداوى	ت : جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠ – ضحايا التنمية	جيرمى سيبروك	ت : فخرى لبيب
٢٠١ – الجانب الدينى للفلسفة	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٢٠٢ – تاريخ النقد الأدبى الحديث جـ٤	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣ – الشعر والشاعرية	ألطاف حسين حالى	ت : جلال السعيد الحفناوى
٢٠٤ – تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شازار	ت : أحمد محمود هويدى
٢٠٥ – الجينات والشعوب واللغات	لويجى لوقا كافاللى – سفورزا	ت : أحمد مستجير
٢٠٦ – الهيولية تصنع علماً جديداً	جيمس جلايك	ت : على يوسف على
٢٠٧ – ليل إفريقى	رامون خوتاسندير	ت : محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٠٨ – شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى	دان أوريان	ت : محمد أحمد صالح
٢٠٩ – السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	ت : أشرف الصباغ
٢١٠ – مثنويات حكيم سنائى	سنائى الغزنوى	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١ – فردينان دوسوسير	جوناثان كلر	ت : محمود حمدى عبد الغنى
٢١٢ – قصص الأمير مرزبان	مرزبان بن رستم بن شروين	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٢١٣ – مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبد الناصر	ريمون فلاور	ت : سيد أحمد على الناصرى
٢١٤ – قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع	أنتونى جيدنز	ت : محمد محمود محى الدين
٢١٥ – سياحت نامه إبراهيم بيك جـ٢	زين العابدين المراغى	ت : محمود سلامة علاوى
٢١٦ – جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	ت : أشرف الصباغ
٢١٧ – مسرحيتان طليعيتان	صمويل بيكيت	ت : نادية البنهاوى
٢١٨ – رايولا	خوليو كورتازار	ت : على إبراهيم على منوفى

٢١٩ - بقايا اليوم	كازو ايشجورو	ت : طلعت الشايب
٢٢٠ - الهيولية فى الكون	بارى باركر	ت : على يوسف على
٢٢١ - شعرية كفافى	جريجورى جوزدانيس	ت : رفعت سلام
٢٢٢ - فرانز كافكا	رونالد جراى	ت : نسيم مجلى
٢٢٣ - العلم فى مجتمع حر	بول فيرابنر	ت : السيد محمد نفادى
٢٢٤ - دمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	ت : منى عبد الظاهر إبراهيم السيد
٢٢٥ - حكاية غريق	جابرييل جارثيا ماركث	ت : السيد عبد الظاهر عبد الله
٢٢٦ - أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هربت لورانس	ت : طاهر محمد على البربرى
٢٢٧ - المسرح الإسبانى فى القرن السابع عشر	موسى ماردينا ديف بوركى	ت : السيد عبد الظاهر عبد الله
٢٢٨ - علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	ت : مارى تيريز عبد المسيح وخالد حسن
٢٢٩ - مأزق البطل الوحيد	نورمان كيمان	ت : أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠ - عن الذباب والفئران والبشر	فرانسواز جاكوب	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١ - الدرافيل	خايمى سالوم بيدال	ت : جمال أحمد عبد الرحمن
٢٣٢ - مابعد المعلومات	توم ستينر	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣٣ - فكرة الاضمحلال	أرثر هيرمان	ت : طلعت الشايب
٢٣٤ - الإسلام فى السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	ت : فؤاد محمد عكود
٢٣٥ - ديوان شمس تبريزى ج١	جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٣٦ - الولاية	ميشيل تود	ت : أحمد الطيب
٢٣٧ - مصر أرض الوادى	روبين فيدين	ت : عنايات حسين طلعت
٢٣٨ - العولمة والتحرير	الانكتاد	ت : ياسر محمد جاد الله وعربى مدبولى أحمد
٢٣٩ - العربى فى الأدب الإسرائيلى	جيلارافر - رابوخ	ت : نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠ - الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كامى حافظ	ت : صلاح عبد العزيز محمود
٢٤١ - فى انتظار البرابرة	ك. م كويتز	ت : ابتسام عبد الله سعيد
٢٤٢ - سبعة أنماط من الغموض	وليام إمبسون	ت : صبرى محمد حسن عبد النبى
٢٤٣ - تاريخ إسبانيا الإسلامية جـ١	ليفى بروفنسال	ت : مجموعة من المترجمين
٢٤٤ - الغليان	لاورا إسكيبيل	ت : نادية جمال الدين محمد
٢٤٥ - نساء مقاتلات	إليزابيتا أديس	ت : توفيق على منصور
٢٤٦ - قصص مختارة	جابرييل جرثيا ماركث	ت : على إبراهيم على منوفى
٢٤٧ - الثقافة الجماهيرية والحداثة فى مصر	وولتر أرمبرست	ت : محمد الشرقاوى
٢٤٨ - حقول عدن الخضراء	أنطونيو جالا	ت : عبد اللطيف عبد الحليم
٢٤٩ - لغة التمزق	دراجو شتامبوك	ت : رفعت سلام
٢٥٠ - علم اجتماع العلوم	دومنيك فينك	ت : ماجدة أباظة
٢٥١ - موسوعة علم الاجتماع ج ٢	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
٢٥٢ - رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	ت : على بدران
٢٥٣ - تاريخ مصر الفاطمية	ل. أ. سيمينوفا	ت : حسن بيومى
٢٥٤ - الفلسفة	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥ - أفلاطون	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام

٢٥٦ – ديكارت	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧ – تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	ت : محمود سيد أحمد
٢٥٨ – الفجر	سير أنجوس فريزر	ت : عُبادة كُحيلة
٢٥٩ – مختارات من الشعر الأرمنى	نخبة	ت : ڤاروچان كازانچيان
٢٦٠ – موسوعة علم الاجتماع ج٢	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
٢٦١ – رحلة فى فكر زكى نجيب محمود	زكى نجيب محمود	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢ – مدينة المعجزات	إدواردو مندوثا	ت : محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٦٣ – الكشف عن حافة الزمن	چون جريبن	ت : على يوسف على
٢٦٤ – إبداعات شعرية مترجمة	هوراس / شلى	ت : لويس عوض
٢٦٥ – روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصموئيل جونسون	ت : لويس عوض
٢٦٦ – مدير المدرسة	جلال آل أحمد	ت : عادل عبد المنعم سويلم
٢٦٧ – فن الرواية	ميلان كونديرا	ت : بدر الدين عرودكى
٢٦٨ – ديوان شمس تبريزى ج٢	جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦٩ – وسط الجزيرة العربية وشرقها ج١	وليم چيفور بالجريف	ت : صبرى محمد حسن
٢٧٠ – وسط الجزيرة العربية وشرقها ج٢	وليم چيفور بالجريف	ت : صبرى محمد حسن
٢٧١ – الحضارة الغربية	توماس سى . باترسون	ت : شوقى جلال
٢٧٢ – الأديرة الأثرية فى مصر	س. س. والترز	ت : إبراهيم سلامة
٢٧٣ – الاستعمار والثورة فى الشرق الأوسط	جوان آر. لوك	ت : عنان الشهاوى
٢٧٤ – السيدة بربارا	رومولو جلاجوس	ت : محمود على مكى
٢٧٥ – ت. س. إليوت شاعراً وناقداً وكاتباً مسرحياً	أقلام مختلفة	ت : ماهر شفيق فريد
٢٧٦ – فنون السينما	فرانك جوتيران	ت : عبد القادر [redacted]
٢٧٧ – الچينات : الصراع من أجل الحياة	بريان فورد	ت : [redacted]
٢٧٨ – البدايات	إسحق عظيموف	ت : [redacted]
٢٧٩ – الحرب الباردة الثقافية	فرانسيس ستونر سوندرز	ت : [redacted]
٢٨٠ – من الأدب الهندى الحديث والمعاصر	بريم شند وآخرون	ت : سمير عبد الحميد
٢٨١ – الفردوس الأعلى	مولانا عبد الحليم شرر الكهنوى	ت : جلال الحفناوى
٢٨٢ – طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس ولبيرت	ت : سمير حنا صادق
٢٨٣ – السهل يحترق	خوان رولفو	ت : على البمبى
٢٨٤ – هرقل مجنوناً	يوريبيدس	ت : أحمد عتمان
٢٨٥ – رحلة الخواجة حسن نظامى	حسن نظامى	ت : سمير عبد الحميد
٢٨٦ – رحلة إبراهيم بك ج٣	زين العابدين المراغى	ت : محمود سلامة علاوى
٢٨٧ – الثقافة والعولمة والنظام العالمى	أنتونى كينج	ت : محمد يحيى وآخرون
٢٨٨ – الفن الروائى	ديفيد لودج	ت : ماهر البطوطى
٢٨٩ – ديوان منجوهرى الدامغانى	أبو نجم أحمد بن قوص	ت : محمد نور الدين
٢٩٠ – علم اللغة والترجمة	چورج مونان	ت : أحمد زكريا إبراهيم
٢٩١ – المسرح الإسبانى فى القرن العشرين ج١	فرانشسكو رويس رامون	ت : السيد عبد الظاهر
٢٩٢ – المسرح الإسبانى فى القرن العشرين ج٢	فرانشسكو رويس رامون	ت : السيد عبد الظاهر

٢٩٣ – مقدمة للأدب العربى	روجر آلان	ت : نخبة من المترجمين
٢٩٤ – فن الشعر	بوالو	ت : رجاء ياقوت صالح
٢٩٥ – سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل	ت : بدر الدين حب الله الديب
٢٩٦ – مكبث	وليم شكسبير	ت : محمد مصطفى بدوى
٢٩٧ – فن النحو بين اليونانية والسوريانية	ديونيسيوس ثراكس – يوسف الأهوانى	ت : ماجدة محمد أنور
٢٩٨ – مأساة العبيد	أبو بكر تفاوابليوه	ت : مصطفى حجازى السيد
٢٩٩ – ثورة التكنولوجيا الحيوية	جين ل. ماركس	ت : هاشم أحمد فؤاد
٣٠٠ – أسطورة بروميثيوس مج١	لويس عوض	ت : جمال الجزيرى وبهاء چاهين
٣٠١ – أسطورة بروميثيوس مج٢	لويس عوض	ت : جمال الجزيرى ومحمد الجندى
٣٠٢ – فنجنشتين	جون هيتون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٣ – بـوذا	جين هوب وبورن فان لون	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٤ – ماركس	ريـوس	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٥ – الجلد	كروزيو مالابارته	ت : صلاح عبد الصبور
٣٠٦ – الحماسة – النقد الكانطى للتاريخ	چان – فرانسوا ليوتار	ت : نبيل سعد
٣٠٧ – الشعور	ديفيد بابينو	ت : محمود محمد أحمد
٣٠٨ – علم الوراثة	ستيف جونز	ت : ممدوح عبد المنعم أحمد
٣٠٩ – الذهن والمخ	انجوس چيلاتى	ت : جمال الجزيرى
٣١٠ – يونج	ناجى هيد	ت : محيى الدين محمد حسن
٣١١ – مقال فى المنهج الفلسفى	كولنجوود	ت : فاطمة إسماعيل
٣١٢ – روح الشعب الأسود	وليم دى بويز	ت : أسعد حليم
٣١٣ – أمثال فلسطينية	خايير بيان	ت : عبد الله الجعيدى
٣١٤ – الفن كعدم	جينس مينيك	ت : هويدا السباعى
٣١٥ – جرامشى فى العالم العربى	ميشيل بروندينو	ت :كاميليا صبحى
٣١٦ – محاكمة سقراط	أ. ف. ستون	ت : نسيم مجلى
٣١٧ – بلا غد	شير لايموفا – زنيكين	ت : أشرف الصباغ
٣١٨ – الأدب الروسى فى السنوات العشر الأخيرة	نخبة	ت : أشرف الصباغ
٣١٩ – صور دريدا	جايتر ياسبيفاك وكرستوفر نوريس	ت : حسام نايل
٣٢٠ – لمعة السراج لحضرة التاج	مؤلف مجهول	ت : محمد علاء الدين منصور
٣٢١ – تاريخ إسبانيا الإسلامية ج٢	ليفى برو فنسال	ت : نخبة من المترجمين
٣٢٢ – وجهات نظر حديثة فى تاريخ الفن الغربى	دبليو. إيوجين كليلباور	ت : خالد مفلح حمزة
٣٢٣ – فن الساتورا	تراث يونانى قديم	ت : هانم سليمان
٣٢٤ – اللعب بالنار	أشرف أسدى	ت : محمود سلامة علاوى
٣٢٥ – عالم الآثار	فيليب بوسان	ت : كرستين يوسف
٣٢٦ – المعرفة والمصلحة	جورجين هابرماس	ت : حسن صقر
٣٢٧ – مختارات شعرية مترجمة	نخبة	ت : توفيق على منصور
٣٢٨ – يوسف وزليخة	نور الدين عبد الرحمن بن أحمد	ت : عبد العزيز بقوش
٣٢٩ – رسائل عيد الميلاد	تد هيوز	ت : محمد عيد إبراهيم

٣٣٠ – كل شيء عن التمثيل الصامت	مارفن شبرد	ت : سامى صلاح
٣٣١ – عندما جاء السردين	ستيفن جراى	ت : سامية دياب
٣٣٢ – رحلة شهر العسل وقصص أخرى	نخبة	ت : على إبراهيم على منوفى
٣٣٣ – الإسلام فى بريطانيا	نبيل مطر	ت : بكر عباس
٣٣٤ – لقطات من المستقبل	آرثر س. كلارك	ت : مصطفى فهمى
٣٣٥ – عصر الشك	ناتالى ساروت	ت : فتحى العشرى
٣٣٦ – متون الأهرام	نصوص قديمة	ت : حسن صابر
٣٣٧ – فلسفة الولاء	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٣٣٨ – نظرات حائرة وقصص أخرى من الهند	نخبة	ت : جلال السعيد الحفناوى
٣٣٩ – تاريخ الأدب فى إيران جـ٣	على أصغر حكمت	ت : محمد علاء الدين منصور
٣٤٠ – اضطراب فى الشرق الأوسط	بيرش بيربيروجلو	ت : فخرى لبيب
٣٤١ – قصائد من رلكه	راينر ماريا رلكه	ت : حسن حلمى
٣٤٢ – سلامان وأبسال	نور الدين عبد الرحمن بن أحمد	ت : عبد العزيز بقوش
٣٤٣ – العالم البرجوازى الزائل	نادين جورديمر	ت : سمير عبد ربه
٣٤٤ – الموت فى الشمس	بيتر بلانجوه	ت : سمير عبد ربه
٣٤٥ – الركض خلف الزمن	بونه ندائى	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٣٤٦ – سحر مصر	رشاد رشدى	ت : جمال الجزيرى
٣٤٧ – الصبية الطائشون	جان كوكتو	ت : بكر الحلو
٣٤٨ – المتصوفة الأولون فى الأدب التركى جـ١	محمد فؤاد كوبريلى	ت : عبد الله أحمد إبراهيم
٣٤٩ – دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	أرثر والدرون وآخرين	ت : أحمد عمر شاهين
٣٥٠ – بانوراما الحياة السياحية	أقلام مختلفة	ت : عطية شحاتة
٣٥١ – مبادئ المنطق	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٣٥٢ – قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	ت : نعيم عطية
٣٥٣ – الفن الإسلامى فى الأندلس (هندسية)	باسيليو بابون مالدوناالد	ت : على إبراهيم على منوفى
٣٥٤ – الفن الإسلامى فى الأندلس (نباتية)	باسيليو بابون مالدوناالد	ت : على إبراهيم على منوفى
٣٥٥ – التيارات السياسية فى إيران	حجت مرتضى	ت : محمود سلامة علاوى
٣٥٦ – الميراث المر	بول سالم	ت : بدر الرفاعى
٣٥٧ – متون هيرميس	نصوص قديمة	ت : عمر الفاروق عمر
٣٥٨ – أمثال الهوسا العامية	نخبة	ت : مصطفى حجازى السيد
٣٥٩ – محاورات بارمنيدس	أفلاطون	ت : حبيب الشارونى
٣٦٠ – أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونويلا باركان	ت : ليلى الشربينى
٣٦١ – التصحر : التهديد والمجابهة	آلان جرينجر	ت : عاطف معتمد وآمال شاور
٣٦٢ – تلميذ باينبرج	هاينرش شبورال	ت : سيد أحمد فتح الله
٣٦٣ – حركات التحرر الأفريقى	ريتشارد جيبسون	ت : صبرى محمد حسن
٣٦٤ – حداثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	ت : نجلاء أبو عجاج
٣٦٥ – سأم باريس	شارل بودلير	ت : محمد أحمد حمد
٣٦٦ – نساء يركضن مع الذئاب	كلاريسا بنكولا	ت : مصطفى محمود محمد

٣٦٧ – القلم الجرىء	نخبة	ت : البرّاق عبد الهادى رضا
٣٦٨ – المصطلح السردى	جيرالد برنس	ت : عابد خزندار
٣٦٩ – المرأة فى أدب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	ت : فوزية العشماوى
٣٧٠ – الفن والحياة فى مصر الفرعونية	كليرلا لويت	ت : فاطمة عبد الله محمود
٣٧١ – المتصوفة الأولون فى الأدب التركى جـ٢	محمد فؤاد كوبريلى	ت : عبد الله أحمد إبراهيم
٣٧٢ – عاش الشباب	وانغ مينغ	ت : وحيد السعيد عبد الحميد
٣٧٣ – كيف تعد رسالة دكتوراه	أمبرتو إيكو	ت : على إبراهيم على منوفى
٣٧٤ – اليوم السادس	أندريه شديد	ت : حمادة إبراهيم
٣٧٥ – الخلود	ميلان كونديرا	ت : خالد أبو اليزيد
٣٧٦ – الغضب وأحلام السنين	نخبة	ت : إدوار الخراط
٣٧٧ – تاريخ الأدب فى إيران جـ٤	على أصغر حكمت	ت : محمد علاء الدين منصور
٣٧٨ – المسافر	محمد إقبال	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٣٧٩ – ملك فى الحديقة	سنيل باث	ت : جمال عبد الرحمن
٣٨٠ – حديث عن الخسارة	جونتر جراس	ت : شيرين عبد السلام
٣٨١ – أساسيات اللغة	ر. ل. تراسك	ت : رانيا إبراهيم يوسف
٣٨٢ – تاريخ طبرستان	بهاء الدين محمد إسفنديار	ت : أحمد محمد نادى
٣٨٣ – هدية الحجاز	محمد إقبال	ت : سمير عبد الحميد إبراهيم
٣٨٤ – القصص التى يحكيها الأطفال	سوزان إنجيل	ت : إيزابيل كمال
٣٨٥ – مشترى العشق	محمد على بهزادراد	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٣٨٦ – دفاعًا عن التاريخ الأدبى النسوى	جانيت تود	ت : ريهام حسين إبراهيم
٣٨٧ – أغنيات وسوناتات	چون دن	ت : بهاء چاهين
٣٨٨ – مواعظ سعدى الشيرازى	سعدى الشيرازى	ت : محمد علاء الدين منصور
٣٨٩ – من الأدب الباكستانى المعاصر	نخبة	ت : سمير عبد الحميد إبراهيم
٣٩٠ – الأرشيفات والمدن الكبرى	نخبة	ت : عثمان مصطفى عثمان
٣٩١ – الحافلة الليلكية	مايف بينشى	ت : منى الدروبى
٣٩٢ – مقامات ورسائل أندلسية	فرناندو دى لاجرانخا	ت : عبد اللطيف عبد الحليم
٣٩٣ – فى قلب الشرق	ندوة لويس ماسينيون	ت : نخبة
٣٩٤ – القوى الأربع الأساسية فى الكون	بول ديفيز	ت : هاشم أحمد محمد

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

رقم الإيداع ٤٦٣٤ / ٢٠٠٢

المجلس الأعلى للثقافة

القوى الأربع الأساسية فى الكون

البحث عن النظرية الموحدة الكبرى

تعد موجة الاهتمام الشعبى الأخيرة بالفيزياء الأساسية واحدة من أكثر التطورات الاجتماعية الفريدة؛ فما سر الفيزياء بصيغها الغامضة، ومصطلحاتها الغريبة، الذى يجعل جمهوراً عريضاً ينجذب إليها؟ تكمن الإجابة فى قدرة الفيزياء الهائلة على تفسير العالم المحيط بنا، أضف إلى ذلك العنصر الخفى والعميق الذى يميز «الفيزياء الحديثة»؛ فالفيزياء واحدة من فروع العلم التى يشمل موضوع دراستها الكون بأسره، ولها قدرة هائلة على توحيد العالم الغريب والمحير الموجود حولنا، مما يجعلها من الموضوعات بالغة التأثير فى نفوس الناس.
يهتم هذا الكتاب بما يمكن اعتباره أهم انتصار للفيزياء الحديثة؛ حيث يقدم نظرية كاملة عن الكون بما فيها نشأته؛ إذ ظهرت هذه الإمكانية المذهلة نتيجة لسلسلة من التطورات العظيمة فى معرفتنا بالقوى الأساسية التى تحكم جميع الأنشطة الطبيعية، وتكشف الأبحاث العلمية الأخيرة عن وجود قوة متسيدة عليا، وجميع القوى الأخرى ما هى إلا مظهر منها.
وناقشنا -فى هذا الكتاب- العديد من النظريات الحديثة والتأملية، وإحدى هذه النظريات فكرة وجود أحد عشر بعداً للمكان-الزمن، وهناك تطور آخر يعرف بفرط التماثل، بالإضافة إلى ما يسمى بالنظريات الموحدة الكبرى.

تصميم الغلاف: سماء عجلان